# TÉCNICA

## REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 127 - Março - 1942

# União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

**SEDE**

**Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto**
**Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90**

**DELEGAÇÃO**

**R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa**
**Telefones 27232 — 27233 — Est. 365**

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LOGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

C I M E N T O

# SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMERCIO, 56, 3.º
LISBOA

# CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

**A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de tôdas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.**

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
**RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º**

FILIAL NO NORTE
**AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º**
**PORTO**

NÚMERO
127
Março — 1942

# TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 49144 (linha 50)

**DIRECTOR**
NUNO ABRANTES
**ADMINISTRADOR**
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
**BIBLIOTECÁRIO**
JOSÉ DE LUCENA
**CORPO REDACTORIAL**
Fernando Monjardino
Francisco de Almeida e Castro
José Passos Coelho
Fernando Moitinho de Almeida

NÚMERO AVULSO 5$00
**ASSINATURAS:**

| | 3 N.os | 6 N.os | 12 N.os |
|---|---|---|---|
| Continente e Ilhas | 13$50 | 26$00 | 50$00 |
| Colónias Portuguesas e Espanha... | — | 35$00 | 60$00 |
| Estrangeiro... ..... | — | 40$00 | 70$00 |

**EDITOR E PROPRIETÁRIO**
ASS. DOS ALUNOS DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NAS
OFICINAS FERNANDES
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

# SUMÁRIO

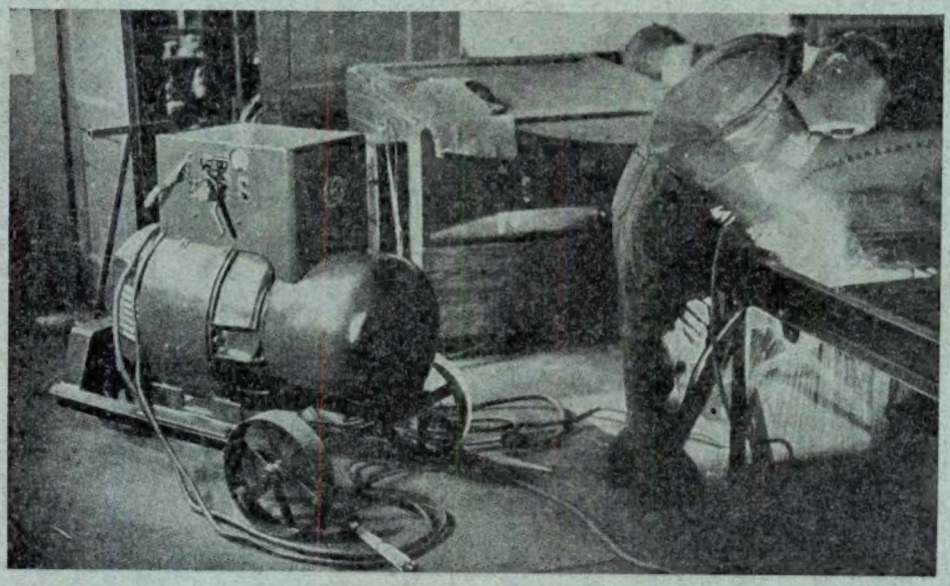
**CAPA — Miniatura (maquette) da Fonte Monumental.**

| | | Págs. |
|---|---|---|
| **Contribuïção para o Estudo das δ-Dicetonas e dos γ-Piranos.** . | Eng.º Quím.-Ind. A. Peres de Carvalho . . . . . | 743 |
| **Fonte Monumental** . . . . . | Eng.º Civil João Carlos Alves | 760 |
| **Aspectos da electrificação rural** | Eng.º Elect. Paulo de Barros | 764 |
| **Indústria do cimento** . . . . . | . . . . . | 788 |
| **Pontos de exames de aptidão** | . . . . . | 789 |
| **Do Mundo Técnico** . . . . . | . . . . . | 793 |

STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
SCHWAN
Bleistift-Fabrik A.-G.
NÜRNBERG
Representante:
A. Ferreira da Silva, Porto.
Rua Alexandre Braga, 82. Tel. 6132
Lápis de desenho
em 18 graduações 7 B — 9 H
Lápis de côr
O utensílio precioso em 24 côres
Novidade: STABILO Cellomin D. R. P.
O lápis-tinta cóm a mina especial
resistente às influências climáticas

# GENERAL ELECTRIC

## Schenectady, N. Y.



Instalação de soldadura eléctrica com grupo rotativo

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Instalações para melhorar o factor da potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadura eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Cabos e fios. Electrificação de fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas.

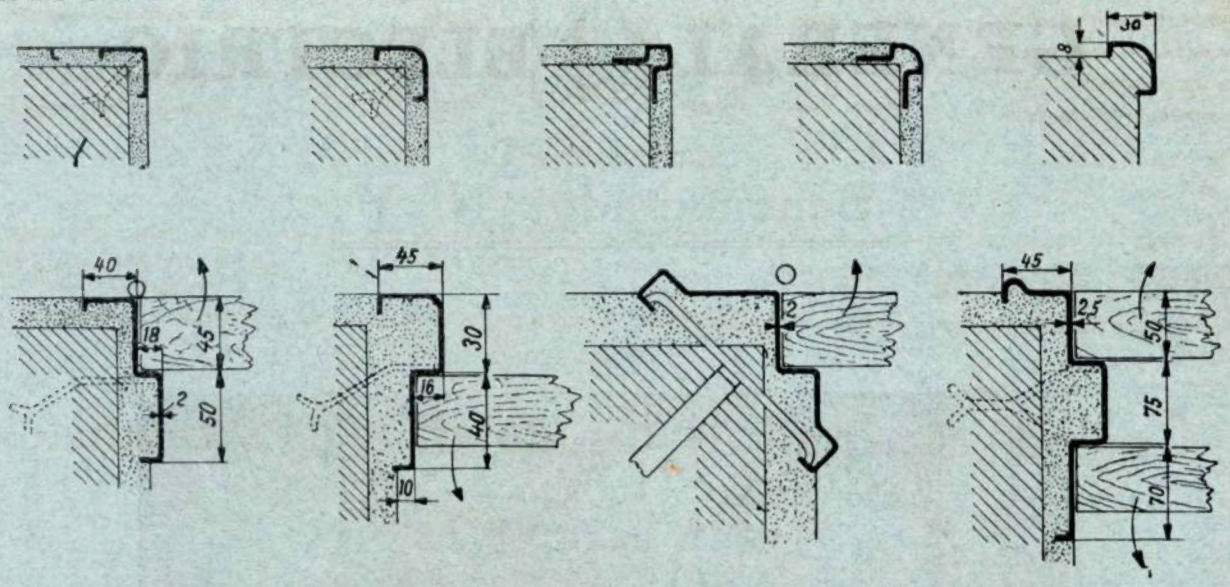
**THOMSON**
**GENERAL ELECTRIC**

**Portuguesa, L.da**

LISBOA
**Rua do Norte, 5**

Telef. 28135-28136

ALGUNS EXEMPLOS DOS PERFIS QUE SE PODEM REALIZAR




LISBOA

# FÁBRICA PORTUGAL

**FABRICAÇÃO DE PERFIS DE CHAPA PARA TODOS OS GENEROS DE TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

## UMA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

## Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

**IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS**

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

**Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA**
**Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO**

Agentes em todo o País

# TÉCNICA

NUNO ABRANTES

DIRECTOR

ANO XVII - N.º 127 MARÇO 1942


# Contribuïção para o Estudo das δ-Dicetonas e dos γ-Piranos


PELO ENG. QUÍMICO-INDUSTRIAL **A. PERES DE CARVALHO**

(PROFESSOR DO I. S. T.)

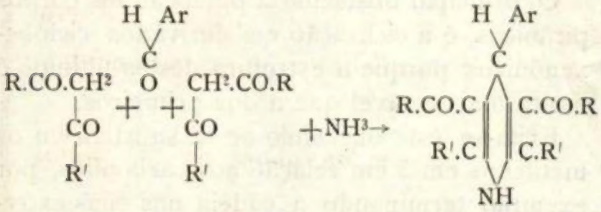

*(Continuação do número anterior)*

III PARTE

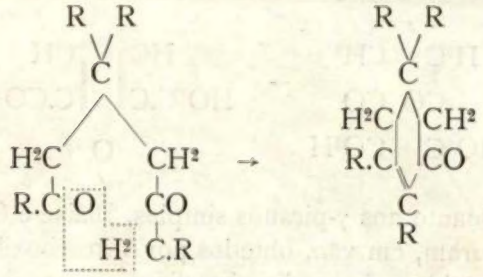
## Reacções de Ciclisação das Dicetonas-δ

### A — Resumo histórico

Os primeiros trabalhos sôbre a ciclisação de compostos δ-dicetónicos são devidos a Hantzsch Engelmann e a Paal e Strasser e referem-se à preparação das dihidro-piridinas. Estes autores não isolam as δ-dicetonas que se formam naturalmente, como termos intermediários, preparam directamente os derivados piridicos condensando um aldeído com um éster β-cetónico, em presença de amoníaco.




Foi Knoevenagel que generalizou a síntese de Hantzsch e a aplicou às δ-dicetonas. Todavia, segundo êste autor, a formação de derivados piridicos a partir das δ-dicetonas nem sempre se realiza; quando existe um agrupamento metileno em posição ε, formam-se de preferência corpos de núcleo ciclohexenónico:

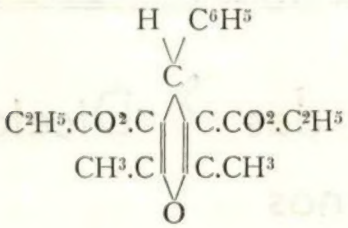



Mais tarde, Blaise e Montagne estabeleceram que se podem obter compostos piridicos mesmo a partir das δ-dicetonas com um metileno em posição ε, com a condição de substituir o amoníaco pela hidroxilamina.

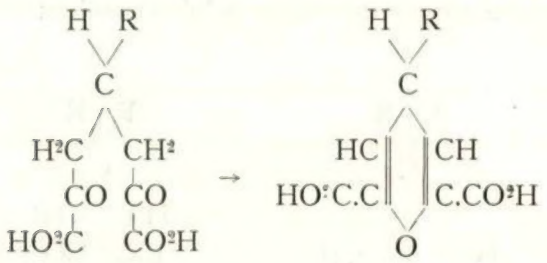
Pelo contrário, a acção do amideto de sódio conduz a resultados completamente diferentes, segundo os trabalhos de Bauer; continuando as pesquisas iniciadas com Haller, Bauer mostrou que, enquanto que as cetonas ε e ξ fornecem derivados ciclopentenónicos e ciclohexenónicos por acção do amideto de sódio, as δ-dicetonas dão derivados sodados que, tratados

pela água, regeneram os compostos iniciais sem formação de compostos cíclicos.

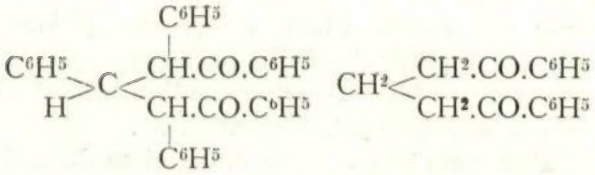
O primeiro exemplo de ciclisação oxídidica de dicetonas δ foi dado por Hantzsch. Fazendo reagir o éster acetil-acético com o benzaldeido em presença de metilamina êste autor obteve um derivado não azotado a que atribuiu a seguinte constituïção:



Todavia, é sobretudo aos trabalhos de Blaise e Gault e depois de Dilthey e seus colaboradores que se devem os nossos conhecimentos referentes à ciclisação oxídica. Numa longa série de comunicações Blaise e Gault, e depois Gault, descreveram diferentes ácidos γ-pirano--dicarboxílicos obtidos pela deshidratação de ácidos δ-cetónicos.

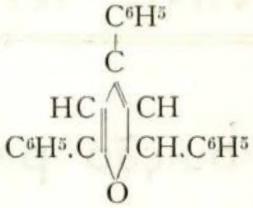


Quanto aos γ-piranos simples, Blaise e Gault tentaram, em vão, obtê-los por descarboxilação dos ácidos pirano-dicarboxílicos ou por ciclização da benzamarona e da difenil-pentanadiona.

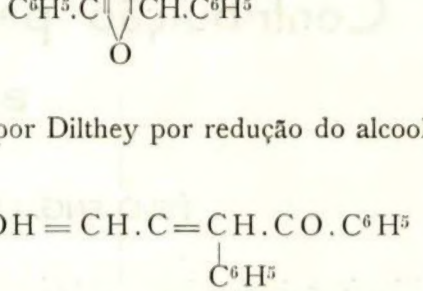


Mais recentemente Dilthey e os seus colaboradores também não conseguiram formar os γ-piranos que correspondem às δ-dicetonas resultantes da condensação de cetonas entre si ou com um aldeído. Como a reacção se realiza em presença do percloreto de ferro, obtém-se, imediatamente sem ser possível isolar termos intermediários, o produto de oxidação do pirano, quere dizer, o derivado pirílio, sob a forma de sais simples ou duplos.

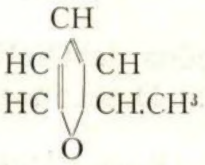
Os dois únicos piranos de função simples que se encontram na literatura, são um, o trifenil 2-4-6 α-pirano:



preparado por Dilthey por redução do alcool--cetónico:



e o outro, o metil α-pirano:



que teria sido obtido por Windaus e Tomich a partir do manitano.

Não tenho conhecimento de que tenha sido descrito nenhum γ-pirano de função simples, quere dizer, sem nenhuma outra função no ciclo ou em cadeia lateral.

## B — Ciclisação em γ-pirano [1]

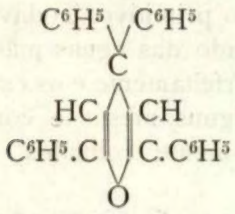
O principal obstáculo à obtenção de corpos pirânicos, é a ciclisação em derivados ciclohexenónicos porque a estrutura dêstes últimos é muito mais estável que a dos primeiros.

Evita-se êste obstáculo se se suprimirem os metilenos em ξ em relação aos carbonilos, por exemplo terminando a cadeia nas suas extremidades em δ, por arilos. Todavia, como se

(1) Evidentemente, que não se trata aqui das pironas, edifício muito mais estável que o dos piranos.

acaba de ver, mesmo nestas condições os γ-piranos continuam sendo compostos pouco acessíveis.

Tendo preparado uma dicetona δ do tipo daquelas cuja ciclisação como ciclohexenona, não é possível, retomei, por minha vez, o problema e tive a sorte de conseguir a ciclisação que se pretendia. A difenacil-difenil-metana sob a acção de deshidradantes, forneceu o γ-pirano correspondente, o tetrafenil-2-4-4-6 γ-pirano:



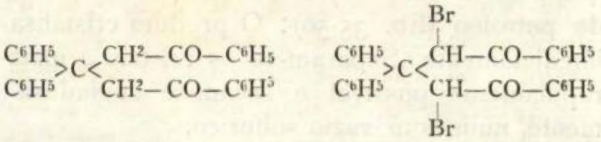
Para interpretar esta reacção, é preciso admitir que a deshidratação é precedida de enolisação dos dois grupos carbonilo. Ora, a presença dos quatro fenilos na molécula deve precisamente favorecer a enolisação. Mas, o facto de ter quatro substituintes electronegativos não é suficiente para explicar a obtenção do derivado pirânico, porque, então, seria incompreensível o insucesso no caso da benzamarona, que comporta cinco fenilos como substituintes.

A posição dos agrupamentos electronegativos deve desempenhar um papel tão importante como o seu número e, na molécula da difenacil-difenil-metana a ausência de substituintes no lugar dos átomos de hidrogénio sôbre os carbonos 2 e 4 deve facilitar a passagem à forma enólica e ser assim, a causa do sucesso da ciclisação.

Na molécula da benzamarona a presença dos fenilos substituintes em 2-4 deve tornar difícil a enolisação e conseqüentemente a ciclisação.

Esta hipótese é confirmada pelos resultados dos meus ensaios de ciclisação da tetrafenil-1-3-3-5 dibromo-2-4 pentanadiona-1-5. Com efeito, êste composto (que foi descrito na pág. 688) ao contrário da difenacil-difenil-metana da qual deriva, apresenta uma grande resistência à acção dos deshidratantes; apesar de vários ensaios conduzidos da maneira mais enérgica, o dibromo-pirano correspondente não poude ser obtido.

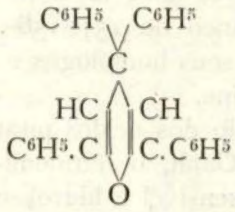
Ora, se se compara a estrutura das duas dicetonas em questão:



não se pode atribuir êste facto, senão à presença em 2-4 dos 2 substituintes electronegativos, isto é, aos dois átomos de bromo. Poder-se-ia inferir daqui que o bromo diminue a estabilidade do ciclo, mas não é o que na realidade se passa, visto que, pelo contrário o dibromo-pirano foi preparado por brometação directa do pirano (ver pág. 748) e mostra-se mesmo muito mais estável do que êste último. É, pois, sòmente pelo facto de ser impedida pela presença dos dois átomos de bromo que a ciclisação não se realiza.

Notemos ainda que os ácidos γ-pirano-dicarboxílicos de Blaise e Gault, derivam de diacídos δ-cetónicos não substituídos em 2-4, e que a dicetona da qual deriva o trifenil 2-4-6 α pirano preparado por Dilthey também não comporta substituintes sôbre os carbonos 2 e 4.

## C — Estudo Experimental da Ciclisação em γ-pirano. O tetrafenil -2-4-4-6 γ-pirano $C^{29}H^{22}O$



*Modo operatório* — 2 gr. de difenacil-difenil-metana dissolvidos em 8 cm³ de xileno anidro são aquecidos com refluxo durante uma hora em presença de um excesso de anidrido fosfórico. A operação é conduzida num tubo cuja rôlha é atravessada por um refrigerante ascendente, e o conjunto protegido da humidade por um tubo de guarda, com cloreto de cálcio. Depois do arrefecimento separa-se por decantação a solução amarela da massa

vítrea do ácido fosfórico, que fica aderente às paredes do tubo, expulsa-se o xileno no vazio quási até à secura e junta-se um pouco de éter de petróleo (Eb. 35-50): O produto cristalisa imediatamente. Separam-se os cristais o mais ràpidamente possível e secam-se cuidadosamente, num bom vazio sulfúrico.

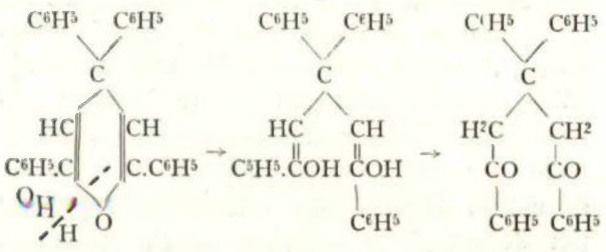
O produto assim obtido apresenta, ainda, uma leve coloração amarela porque não está suficientemente puro; pode proceder-se à sua purificação dissolvendo-o na menor quantidade possível de xileno anidro e fazendo-o recristalizar por adição de éter de petróleo. Devido à sensibilidade do produto à hidrolise, essas operações devem ser conduzidas o mais ràpidamente possível e os dissolventes empregados rigorosamente anidros. É preciso sobretudo evitar um contacto prolongado dos cristais com o dissolvente.

Partindo de 2 gr. de difenacil-difenil-metana, obtive nas preparações mais favoráveis 1,3 gr. de tetrafenil-γ-pirano o que corresponde a um rendimento de 67 %. Recupera-se sempre, por evaporação das águas mães um pouco de dicetona inalterada, ou porque a reacção não seja completa ou o que é mais provável porque a separação do derivado pirânico não se faça bastante ràpidamente para impedir qualquer hidrólise.

Pode também, empregar-se o iodo como deshidratante em vez do anidrido fosfórico, mas o rendimento não é melhorado por êsse facto.

*Propriedades* — O tetrafenil 2-4-4-6 γ-pirano cristaliza em agulhas incolores de ponto de fusão instantâneo de 157°-158°. É solúvel no benzeno, nos seus homólogos e no éter e insolúvel na ligroina.

Ao contrário dos ácidos pirano-carbonílicos de Blaise e Gault, o tetrafenil-γ-pirano, mostra-se muito sensível à hidrólise, fixando fàcilmente uma molécula de água com abertura do ciclo e regressão à dicetona inicial:



Se, por exemplo, se tenta purificá-lo por cristalização no alcool não se obtém senão difenacil-difenil-metana, e basta mesmo, deixar os cristais em contacto com o dissolvente não anidro para que a hidrólise tenha lugar. Esta transformação é tão nítida sôbre o produto no estado cristalino, que é possível segui-la ao microscópio. Vêem-se os contornos das longas agulhas do derivado pirânico tornarem-se cada vez menos nítidos e no fim de 10 a 15 minutos os cristais tomam o fácies prismático da difenacil-difenil-metana; não fica, então, nenhuma agulha do tipo primitivo. Todavia, uma vez o produto separado das águas mães e bem sêco conserva-se perfeitamente e os exemplares preparados há alguns meses e conservados em tubos simplesmente rolhados, conservam-se inalterados.

O tetrafenil-2-4-4-6 γ-pirano não é fototrópico.

*Análises:*

Percentagens achadas: C % = 89,62 e 89,75; H % = = 5,86 e 5,88

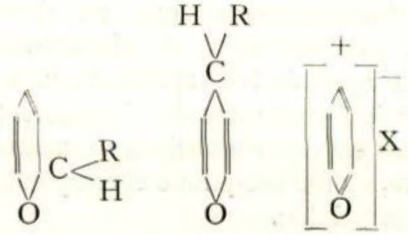
Percentagens calculadas para $C^{23}H^{17}O$: C % = 90,27 H % = 5,74

## D — Notas sôbre a tendência do oxigénio pirânico a passar ao estado oxónio

A tendência que o oxigénio tem a passar ao estado oxónio formando um ião positivo, confere muitas vezes propriedades básicas aos compostos oxigenados principalmente àqueles cujo oxigénio está sob a forma oxídica.

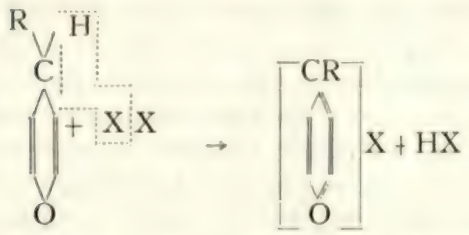
Esta singularidade, assinalada desde 1869 por Bloomstrand, tornou-se depois, objecto de numerosas pesquisas.

No que respeita ao caso particular dos piranos, um derivado oxónio de um tipo especial pode produzir-se por oxidação desde que exista, pelo menos, um átomo de hidrogénio sôbre o carbono simplesmente ligado do ciclo, quere dizer em α ou γ conforme o pirano é do tipo α ou γ:

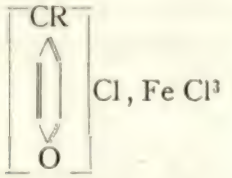


São os derivados pirílio cujos termos mais simples não são geralmente isoláveis senão sob a forma de sais ou ainda de combinações moleculares (sais duplos, etc.).

Os halogéneos, por exemplo, transformam os γ-piranos γ-monosubstituídos em sais halogenados de pirílio:




com o percloreto de ferro como oxidante pode formar-se o cloreto duplo de pirílio e de ferro (Dilthey):




Pelo contrário, se o carbono simplesmente ligado do ciclo pirânico não é portador de hidrogénio, quere dizer, bisubstituído, a oxidação já não pode determinar a passagem da forma «quinoide» do pirano à forma «benzoide» do pirílio. Não é possível, com efeito, eliminar por uma reacção regular de oxidação o substituinte que está a mais em relação à configuração triénica do ciclo final.

Como conseqüência os γ-piranos estudados no presente trabalho, que são γ-bisubstituídos, não devem ter tendência a tomar a forma pirílio. Em particular, a acção dos halogéneos não pode ter o aspecto que apresenta nas reacções estudadas por Fosse assim como por Blaise e Gault.

O tetrafenil-γ-pirano submetido à acção do bromo, forneceu um composto dibromado de ponto de fusão 215°-216°. Mas êste corpo, cuja formação é acompanhada duma abundante produção de vapores de ácido bromídrico, apresenta uma estabilidade notável em face dos reagentes e, facto capital, mostra-se completamente desprovido das propriedades oxidantes assinaladas nos derivados monohalogenados de Fosse e dihalogenados de Blaise e Gault [1].

Aquecido durante uma hora à ebulição com uma solução alcoólica de iodeto de potássio, cristaliza inalterado por arrefecimento, sem que o menor vestígio de iodo seja posto em liberdade. Além disso e ao contrário do tetrafenil-γ-pirano o derivado bromado é insensível à acção da água, podendo ser recuperado quantitativamente depois de ter sido aquecido à ebulição durante algumas horas em presença de um agente hidrolisante.

Todo êste conjunto de factos impede, evidentemente, que se possa admitir para o derivado bromado do tetrafenil-γ-pirano uma estrutura semelhante à dos compostos halogenados descritos pelos autores citados.

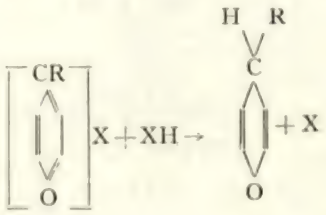
Aliás, a molécula da difenacil-difenil-metana apresenta, no seu conjunto, um carácter nìtidamente negativo, como ressalta do resultado dos ensaios de preparação de sais da tetrafenil-dihidro-piridina (ver adiante). Com efeito, neste composto, a basicidade do átomo de azoto é neutralizada pelo resto da molécula, de maneira que não é possível pôr em evidência esta basicidade pela formação de sais. Deve passar-se o mesmo se no lugar dum átomo de azoto se encontra um átomo de oxigénio.

Não é pois surpreendente que eu não tenha constatado nenhuma tendência à formação de derivados oxónio, não só sob a forma de derivados de adição com os sais, ácidos ou polifenois, como também sob a forma de derivados pirílio pròpriamente ditos.

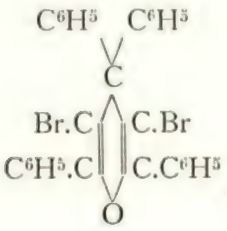
Qual deve ser então, a constituïção do derivado dibromado? A sua notável estabilidade à hidrólise, em oposição à instabilidade do tetrafenil-γ-pirano pode fàcilmente interpretar-se admitindo que o bromo se fixa sôbre o pró-

---

[1] O poder oxidante de certos derivados pirílio está em relação com a sua tendência a voltar ao tipo pirânico, por uma reacção inversa da da sua formação.



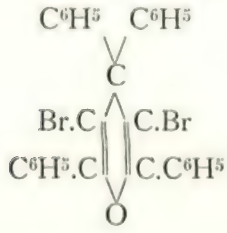
prio núcleo. Esta hipótese está completamente de acôrdo com a experiência pois que, como já se assinalou, o bromo actua por substituïção e não por adição. Portanto, a constituïção mais provável a atribuir ao composto dibromado, seria a de um tetrafenil -2-4-4-6 dibromo -3-5-γ-pirano.




Êste composto, pode ser considerado como um derivado de ciclisação da tetrafenil 1-3-3-5 dibromo 2-4 pentanadiona 1-5, descrita na pág. 688 Já se teve ocasião de notar (pág 745) a fraca tendência mostrada por esta dicetona à ciclisação, devido à presença de dois átomos de bromo em 2-4, Concebe-se, todavia, e não faltam exemplos análogos, que se por um caminho indirecto se chega a construir o mesmo edifício cíclico, êle deve apresentar uma estabilidade excepcional o que é precisamente o caso do tetrafenil-dibromo-γ-pirano. Paul mostrou muito recentemente que a introdução de um átomo de bromo em β, em relação à ponte oxídica no núcleo dihidropirânico aumenta a estabilidade do ciclo. Por mais forte razão, a introdução de dois átomos de bromo no núcleo γ-pirânico deve conduzir a uma estrutura muito estável.

A hipótese da acção dos halogéneos por substituïção no núcleo está, também de acôrdo com a obtenção de outros derivados bromados, ulteriormente preparados.

*Tetrafenil 2-4-4-6 dibromo 3-5 γ-pirano*
$C^{29}H^{20}OBr^2$




*Modo operatório:* Se a uma solução sulfocarbónica de tetrafenil-pirano, se junta, a frio, uma solução a 20 % de bromo no $CS^2$, o bromo é absorvido pouco a pouco com um abundante desenvolvimento de vapores de ácido bromídrico que se mantém durante tôda a reacção.

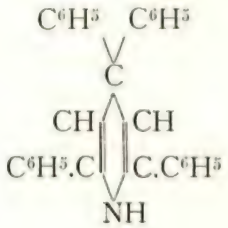
Logo que a solução fica saturada de bromo, o produto começa a cristalizar, mas os cristais formados são amarelos e é preciso redissolvê-los juntando dissolvente. Quando a absorção termina lava-se várias vezes a solução com hiposulfito depois com água e finalmente seca-se. O volume é reduzido a metade, o que ocasiona a cristalização que se pode tornar mais rápida por adição de ligroina. O produto é purificado por uma nova cristalização.

O tetrafenil-dibromo-γ-pirano funde a 215° 216° (sôbre bloco) e cristaliza em lamelas incolores solúveis no benzeno e pouco solúveis nos outros dissolventes usuais.

É um corpo muito estável, insensível à acção dos agentes hidrolisantes e privado de propriedades oxidantes.

*Análises:*
Percentagem achada: Br % 29,40 e 29,37
Percentagem calculada para $C^{29}H^{20}OBr^2$: Br % 29,39.

## E — Formação da tetrafenil-2-4-4-6 Dihidro-1-4 piridina $C^{29}H^{23}N$.




O ensaio de ciclisação da difenacil-difenil-metana em derivado da dihidro-piridina foi efectuado para confirmar a constituïção do composto pirânico.

Com efeito a reacção que dá origem ao tetrafenil-γ-pirano deve conduzir em presença de amoníaco ao corpo dihidro-pirídico correspondente.

A acção directa do gás amoníaco sêco forneceu, realmente, o derivado pretendido, contudo, a técnica descrita a seguir mostra-se

mais cómoda e conduziu ao composto dihidro-pirídico com um rendimento comparável à previsão teórica.

*Modo operatório:* Em 20 $cm^3$ de ácido acético cristalizável dissolvem-se 2 gr. de difenacil-difenil-metana; juntam-se 3 a 4 gr. de acetato de amónio puro e aquece-se com refluxo durante uma hora. Depois de arrefecer, o produto cristaliza em longas agulhas, incolores que fundem a 235°-236° (sôbre bloco). O corpo fica puro imediatamente; o seu ponto de fusão mantem-se depois da recristalização no ácido acético ou no benzeno.

O pêso de produto obtido é de 3,6 gr., o que corresponde a um rendimento de 92 %.

Só o benzeno, os seus homólogos e o ácido acético dissolvem, a quente, a tetrafenil-dihidro-piridina; nos outros dissolventes êla é pràticamente insolúvel.

Os cristais apresentam a transformação fototrópica: de incolores na obscuridade, passam a violeta por exposição à luz para se tornarem incolores, uma vez postos de novo na obscuridade (ver IV parte).

Procurei pôr em evidência o carácter básico da tetrafenil-dihidro-pirídina. Sabe-se contudo que a natureza e o número de substituintes num núcleo pirídico exerce uma grande influência sôbre as propriedades dos corpos que o contém.

Dilthey e os seus colaboradores que estudaram sistemàticamente esta influência, puderam chegar a algumas conclusões interessantes.

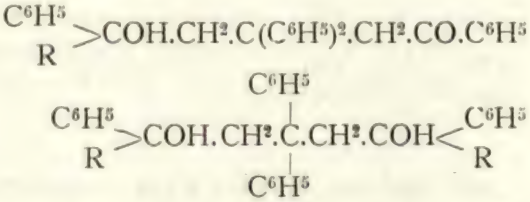
Assim à medida que na molécula da piridina os átomos de hidrogénio são substituídos por arilos, a solubilidade na água e a capacidade de formação de sais com os ácidos vão diminuindo. Estes autores conseguiram ainda preparar o cloridrato da trifenil-2-4-6-piridina, mas sòmente operando em meio não aquoso, ao passo que, para a tetrafenil-2-4-5-6 piridina e para a penta-fenil-piridina, aquele sal não teve possibilidade de ser obtido a-pesar-de numerosas tentativas. Mesmo com as piridinas trifeniladas a obtenção de sais é já difícil; Allen e Barker que prepararam a trifenil-2-3-5 piridina, não conseguiram isolar senão o picrato desta base.

A influência dos substituintes eletronegativos sôbre as propriedades do núcleo devia manter-se no caso das hidro-piridinas; foi o que eu constatei, ensaiando a preparação de sais da tetrafenil-2-4-4-6 dihidro-1-4 piridina. Mesmo operando em dissolventes anidros, não consegui isolar o seu cloridrato.

*Análises:*
Percentagem achada: N % = 3,60 e 3,61
Percentagem calculada para $C^{29}H^{23}N$: N % = 3,63

## F — Ciclisação em derivados dihidro e tetrahidro-pirânicos

A acção dos organos-magnesianos sôbre a difenacil-difenil-metana serviu não só para a caracterização na molécula dêste composto das duas funções cetona mas também para preparar os derivados mono e dihidroxilados dos tipos:



susceptíveis de dar compostos cíclicos por eliminação de água.

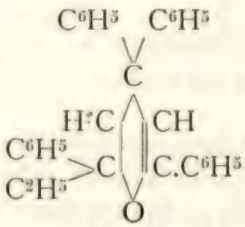
Com efeito a acção do reagente de Griguard sôbre a δ dicetona conduziu a diversos derivados cíclicos de núcleo dihidro ou tetrahidro-pirânico, ao lado dos diois biterciários normais.

Outras reacções, como a redução catalítica e a condensação com o aldeido-benzóico deram lugar, do mesmo modo, à formação de compostos cíclicos. De uma maneira geral, pode dizer-se que há uma grande tendência à ciclisação sempre que os atomos de carbono 1 e 5 são portadores de funções susceptíveis de tomar parte numa eliminação de água. Estes diferentes casos vão ser passados em revista sucessivamente.

## I — Derivados dihidro-pirânicos

a) *Tetrafenil-2-4-4-6 etil-2 dihidro-pirano*

$C^{31}H^{28}O$



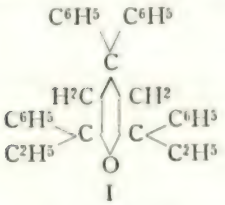
Na acção do brometo de etil-magnésio sôbre a difenacil-difenil-metana, obteve-se, a par do glicol normal

$$\begin{matrix} C^6H^5 \\ C^2H^5 \end{matrix} > COH.CH^2.C(C^6H^5)^2.CH^2.COH > \begin{matrix} C^6H^5 \\ C^2H^5 \end{matrix}$$

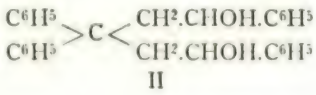
de ponto de fusão 189°-190° (ver pág. 691) um outro produto que funde a 167°-168°. A constituïção dêste segundo corpo foi objecto de quatro hipóteses:

1.° Derivado tetrahidro-pirânico (I) resultante da acção deshidratante do reagente magnesiano sôbre o diol primitivamente formado;

2.° Glicol bisecundário (II), proveniente da acção redutora do magnesiano sôbre a dicetona:



I



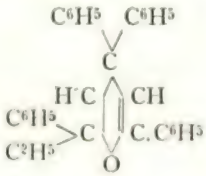
II

3.° Carbinol cetónico (III), proveniente da reacção incompleta do reagente magnesiano sôbre a dicetona, realizando-se sôbre um único carbonilo;

4.° Derivado dihidro pirânico (IV) resultante da ciclisação com eliminação de água, do carbinol cetónico precedente:

$$\begin{matrix} C^6H^5 \\ C^6H^5 \end{matrix} > COH.CH^2.C(C^6H^5)^2.CH^2.CO.C^6H^5$$

III



IV

Os resultados das análises efectuadas sôbre o corpo de ponto de fusão 167°-168°, mostram que só é admissível a última hipótese:

| | C % | H % |
|---|---|---|
| I) Derivado tetrahidropirânico ..... | 88,73 | 7,67 |
| II) Glicol bisecundário..... ..... | 88,25 | 6,91 |
| III) Carbinol cetónico ..... | 85,66 | 6,96 |
| IV) Derivado dihidropirânico ..... | 88,70 | 6,81 |
| Resultados das análises..... | 89,52 | 6,91 |
| | 89,24 | 6,87 |

Vê-se que a concordância entre os números experimentais e os valores calculados para a fórmula dihidro pirânica é bastante satisfatória

Além disso, estudando cuidadosamente a reacção do brometo de etil-magnésio sôbre a difenacil-difenil-metana, foi possível constatar que, se em vez de deitar a solução de dicetona no magnesiano se operasse inversamente o rendimento em glicol diminuia, ao passo que, aumentava o do corpo de ponto de fusão 167°-168°. Portanto, êste produto deve ser originado na acção do magnesiano sôbre a própria dicetona e não sôbre o diol já formado. O facto de chegar ao composto cíclico e não ao carbinol cetónico intermediário está também de acôrdo com a tendência à cilisação de que os derivados da difenacil-difenil-metana forneceram bastantes exemplos.

Citemos ainda como apoio da estrutura em questão a obtenção de um derivado monobromado.

O sub-produto de preparação do tetrafenil-etil-pentanadiol será então o tetrafenil 2-4-4-6 etil -2- dihidro-pirano.

*Preparação* — Viu-se na pág. 691 que a formação do tetrafenil-etil-dihidro-pirano acompanha, sempre, a do glicol normal. Se é a obtenção do corpo dihidro-pirânico que se tem como objectivo, modifica-se a técnica de reacção de maneira a ter sempre um excesso da solução de dicetona. Pode-se, assim preparar o tetra-fenil -etil-dihidro-pirano com um rendimento de 80 %.

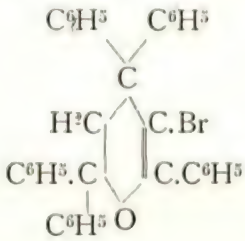
O tetrafenil-2-4-6-6 etil-2-dihidro-pirano cristaliza em finas agulhas incolores, muito solúveis no benzeno e homólogos pouco solúveis no éter e insolúveis no alcool e na ligroina. O ponto de fusão instantâneo é de 167°-168° e cristaliza sem dissolvente de cristalização.

*Análises:*

Percentagens achadas: C % = 89,24 e 89,52; H % = = 6,87 e 6,91

Percentagens calculadas para $C^{31}H^{28}O$: C % = = 89,70; H % = 6,81

b) *Tetrafenil-2-4-4-6 etil-2 bromo-5 dihidro-pirano* $C^{31}H^{27}OBr$



Uma solução sulfocarbónica de tetrafenil--etil-dihidro-pirano tratada por bromo a frio, fornece um derivado de substituïção monobromado.

Quando se segue a acção do bromo observa-se que começa por reagir por adição; com efeito, o descoramento é instantâneo e não se observa libertação gasosa nem turvação na solução. Mas, à medida que a reacção prossegue, a absorpção torna-se cada vez mais lenta e é acompanhada duma abundante libertação de vapores de ácido bromídrico.

É pois muito provável que o bromo se fixe a princípio sôbre a ligação dupla; depois, a acção repulsiva do radical fenilo em posição 6 tenderia a expulsar o segundo átomo de bromo que seria eliminado sob a forma de ácido bromídrico.

Ter-se-ia assim, como produto final, um composto monobromado o que corresponde ao resultado experimental.

O tetrafenil-2-4-4-6 etil-2 bromo-6 dihidro--pirano cristaliza em prismas incolores de ponto de fusão 112°-113° (sôbre bloco). É solúvel no sulfureto de carbono e no benzeno, e dificilmente solúvel nos outros dissolventes usuais.

Êste derivado apresenta grande estabilidade, em particular, em face dos reagentes hidrolizantes.

*Análises:*

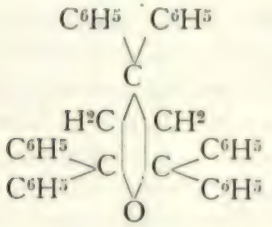
Percentagens achadas: Br % = 16,15 e 16,10

Percentagem calculada para $C^{21}H^{27}OBr$: Br % = 16,14

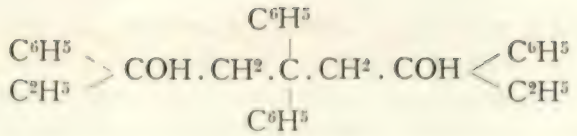
II — *Derivados tetrahidro-pirânicos*

a) *Hexafenil-2-2-4-4-6-6 tetrahidro-pirano*

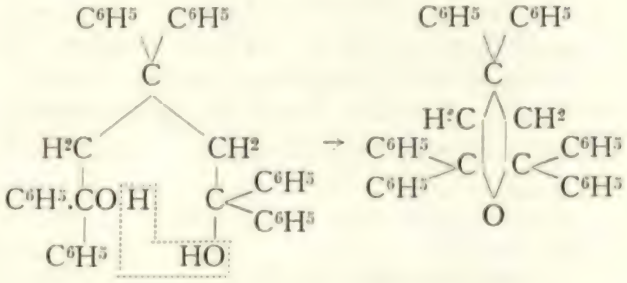
$C^{41}H^{34}O$



A acção do brometo de fenil-magnésio sôbre a difenacil-difenil-metana que conduz ao hexafenil-1-1-3-3-5-5 pentanadiol-1-5:

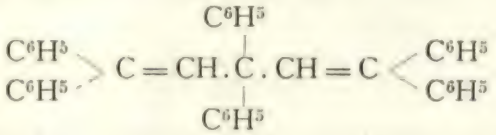


dá, também, lugar à formação de outro produto de ponto de fusão 207°-208° (ver pág. 691). Êste corpo foi identificado com o hexafenil--tetrahidro-pirano, preparado directamente pela acção de deshidratantes sôbre o glicol:



A reacção, que lhe dá origem ao lado do diol normal, é pois uma das reacções secundárias observadas por vezes na preparação dos alcoois: a acção deshidratante do magnesiano sôbre o alcool já formado.

Ordinàriamente, esta reacção conduz à formação dum hidrocarboneto etilénico e neste caso particular, deveria obter-se:



Mas a posição relativa dos dois oxídrilos é eminentemente favorável à ciclização e em vez de se dar a eliminação de duas moléculas de água entre os carbonos 1 e 2 por um lado e 4 e 5 por outro, têm-se simplesmente a perda de uma molécula à custa dos dois oxídrilos.

Como se viu na pág. 691 a reacção do brometo de fenil-magnésio sôbre a difenacil-difenil--metana pode ser conduzida de modo a favorecer a formação do hexafenil-tetrahidropirano; todavia, a sua obtenção é mais cómoda e regular por deshidratação do hexafenil-pentanadiol por meio de cloreto de zinco.

*Modo operatório:* Se se aquece uma solução de hexafenil-pentanadiol num dissolvente anidro em presença de um deshidratante perde uma molécula de água e cicliza-se.

Opera-se sôbre uma solução saturada do

glicol no xileno anidro; aquece-se durante uma hora a 130° em presença de um excesso de cloreto de zinco fundido. Uma vez a reacção terminada filtra-se a solução e expulsa-se o xileno no vazio. O resíduo é retomado por benzeno e junta-se alcool ou ligroina: o produto cristaliza em finas agulhas incolores. Uma nova cristalização, na mistura dos mesmos dissolventes, fornece um corpo puro que funde a 207°-208° (sôbre bloco). É solúvel nos dissolventes usuais, exceptuando o alcool e a ligroina.

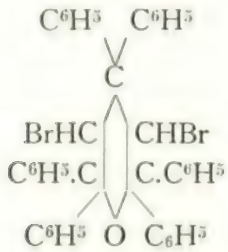
A identidade com o corpo que acompanha a formação do hexafenil-pentanadiol é confirmada pelo ponto de fusão, da mistura, que é também de 207°-208°.

*Análises:*

Percentagens achadas: C % = 90,48 e 90,61; H % = = 6,29 e 6,35.

Percentagens calculadas para $C^{41}H^{34}O$: C % = = 90,72; H % = 6,32.

b) *Hexafenil-2-2-4-4-6-6 dibromo 3-5-tetrahidro-pirano.* $C^{41}H^{32}OBr^2$



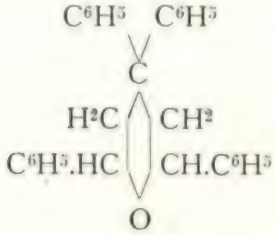
Êste derivado foi obtido tratando o hexafenil-tetrahidro-pirano pelo bromo, em solução sulfocarbónica. Purificado por cristalização numa mistura benzeno-ligroina, o corpo bromado funde a 177°-178° (sôbre bloco).

*Análises:*

Percentagens achadas: Br % = 22,67 e 22,73.

Percentagem calculada para $C^{41}H^{32}OBr^2$: Br % = = 22,85.

c) *Tetrafenil-2-4-4-6 tetrahidro-pirano* $C^{29}H^{26}O$



Na parte II, consagrada ao estudo da constituïção da difenacil-difenil-metana uma das reacções assinaladas como tendo servido à caracterização das duas funções cetona foi a hidrogenação catalítica. Esta reacção devia conduzir ao glicol bisecundário.

$$C^6H^5.CHOH.CH^2.C(C^6H^5)^2CH^2.CHOH.C^6H^5,$$

que não foi possível isolar, tendo-se obtido o derivado de ciclização.

Em nenhuma ocasião durante o tratamento das soluções hidrogenadas, se conseguiu constatar a presença de qualquer corpo diferente do composto tetrahidro-pirânico. E todavia a obtenção dêste derivado prova que o diol bisecundário se deve formar intermediàriamente. Tratar-se-ia então de um corpo muito instável que se ciclizaria à medida que se vai formando:

Ora, se se compara a fórmula dêste composto com as dos dióis 1-5 preparados pela acção dos magnesianos sôbre a difenacil-difenil-metana constata-se que não diferem senão pela substituïção dos dois átomos de hidrogénio ligados aos carbonos 1 e 5, por radicais R:

$$\begin{matrix} C^6H^5 \\ H \end{matrix} > COH.CH^2.C(C^6H^5)^2.CH^2.COH < \begin{matrix} C^6H^5 \\ H \end{matrix} \quad (1)$$

$$\begin{matrix} C^6H^5 \\ R \end{matrix} > COH.CH^2.C(C^6H^5)^2.CH^2.COH < \begin{matrix} C^6H^5 \\ R \end{matrix} \quad (2)$$

Mas, como se viu anteriormente os dióis correspondentes à fórmula geral (2) são bastante estáveis apesar de fornecerem derivados ciclicos mas só por acção de um deshidratante.

Puderam mesmo ser preparados com um rendimento elevado, ao passo que tôdas as tentativas para isolar o corpo [1] foram infrutíferas.

Parece pois, que a presença dos radicais R ligados aos dois átomos de carbono 1 e 5 em vez dos átomos de hidrogénio, confere à molécula uma maior resistência à ciclização.

*Modo operatório:* A hidrogenação da difenacil-difenil-metana foi efectuada em meio líquido, empregando como catalizador o óxido de platina preparado segundo as indicações de Voorhees e Adams. O dissolvente escolhido foi o ácido acético que duma maneira geral, convém para a hidrogenação das cetonas.

O dispositivo empregado, muito simples, consiste num frasco cónico de tubuladura lateral, ligado por um tubo de borracha de vazio, a um gasómetro cheio de hidrogénio. O frasco é fixado sôbre o prato dum agitador de choques.

No recipiente, põem-se 4 gr. de difenacil-difenil-metana e 30 cm³ de ácido acético cristalizável; uma parte da dicetona fica em suspensão. Adapta-se o «raccord» de borracha e, ao mesmo tempo que se destapa levemente o frasco faz-se passar uma rápida corrente de hidrogénio para expulsar o ar do recipiente. O catalizador (0,2 gr.) é então introduzido, a rôlha ajustada e o agitador posto em marcha. Faz-se a leitura do nível de hidrogénio no gasómetro, repetindo essa leitura de tempos a tempos, para controlar a velocidade de absorpção. Esta, grande a princípio, diminui de uma maneira contínua e torna-se pràticamente nula antes do fim da redução. Numa foi possível obter uma fixação de hidrogénio superior a 70 % da quantidade teórica.

Uma vez terminada a absorpção o aparelho é desligado e a solução tendo em suspensão a platina (porque a dicetona dissolveu-se completamente pouco a pouco) é filtrada. Concentra-se a solução no vazio até meio volume e deixa-se repousar algumas horas; recolhe-se assim aproximadamente 1 gr. de difenacil-difenil-metana inalterada. O residuo é em seguida, concentrado a sêco e adicionado de alcool o que escorva a cristalização. Purifica-se o produto por uma recristalização da mistura benzeno-alcool.

O tetrafenil-2-4-4-6 tetrahidro-pirano cristaliza em losangos incolores de ponto de fusão instantâneo 145°-146°.

É solúvel no benzeno e homólogos e no ácido acético; é insolúvel nos outros dissolventes.

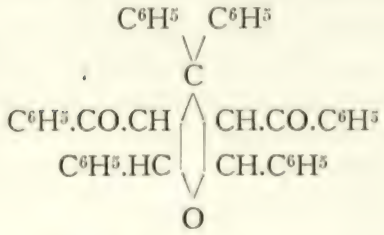
*Análises:*

Percentagens achadas: C % = 88,58 e 88,67; H % = = 6,74 e 6,73.

Percentagens calculadas para $C^{29}H^{26}O$: C % = = 89,18; H % = 6,71

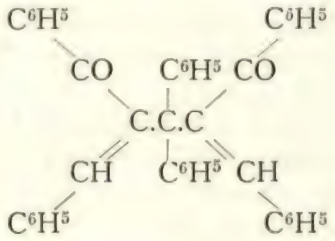
Percentagens calculadas para o glicol: C % = 85,28; H % = 6,91.

a) *Tetrafenil-2-4-4-6 dibenzoil 3-5 Tetrahidro-pirano* $C^{43}H^{34}O^{3}$



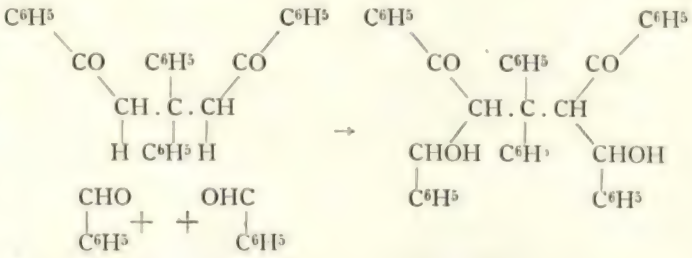
Uma das reacções utilizadas para reconhecer os dois agrupamentos metileno activos na molécula da difenacil-difenil-metana, foi a condensação com o aldeído benzoico (ver pág. 688).

Esta reacção da qual se esperava a dicetona dietilénica.

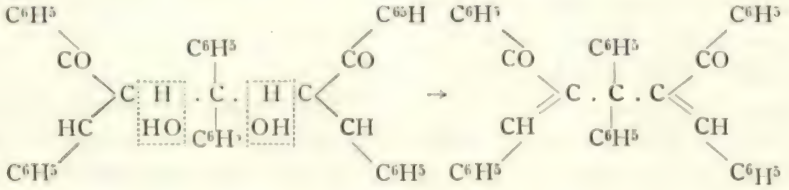


conduziu a um produto cíclico, segundo os resultados das análises.

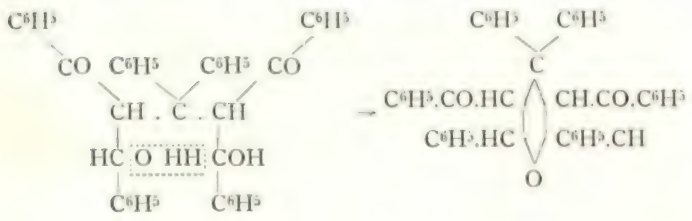
Se se encara a reacção de condensação vê-se que ela deve passar por uma fase intermediária correspondente à adição de duas moléculas de aldeído benzoico:



Se a reacção evoluísse a seguir normalmente, o corpo intermediário, provàvelmente instável devia numa segunda fase perder 2 moléculas de água para dar uma dicetona dietilénica:

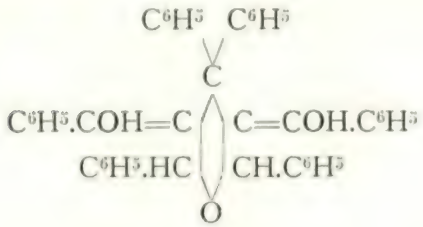


Todavia considerando a estrutura do composto intermediário nota-se que os dois carbonos portadores dos oxidrilos estão, um em relação ao outro, em posição 1-5, quere dizer na posição favorável por excelência à ciclização. Além disso como se trabalha em meio deshidradante, pode admitir-se que a segunda fase da reacção não segue o curso habitual, mas que comporta uma ciclização.



Esta hipótese está de acôrdo com o que se observou de uma maneira geral sôbre a tendência à ciclização dos derivados da difenacil-difenil-metana e sobretudo com as observações referentes à influência dos substituintes ligados aos carbonos 1 e 5 sôbre facilidade de ciclização (ver pág. 749).

Falta explicar a côr amarela do produto obtido. Encarou-se, primeiramente a possibilidade dum novo arranjo molecular, conduzindo a uma estrutura mais susceptível, *à priori*, de corresponder a um corpo corado, uma estrutura dienólica.

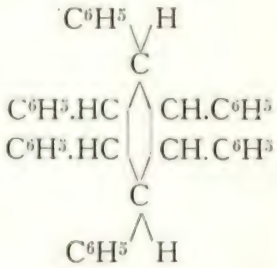


Mas esta hipótese teve de ser abandonada, devido ao comportamento do corpo estudado em presença do bromo e dos organomagnesianos. Ao passo que o bromo é absorvido lentamente, com uma abundante libertação de vapores de ácido bromídrico e sem que a reacção apresente nenhuma das características da adição sôbre uma ligação dupla, o reagente de Grignard não dá libertação gasosa com uma solução do composto estudado.

A fórmula dienólica é, pois, pouco provável.

Por outro lado, se se considera a fórmula dicetónica, nota-se a acumulação de quatro fenilos e dois agrupamentos benzoilo como substituintes do núcleo tetrahidro-pirânico, circunstância que, como se sabe, têm grande influência sôbre a intensidade da côr.

São conhecidos muitos exemplos dêste facto; entre outros a hexafenil 1-2-3-4-5-6 ciclohexana:

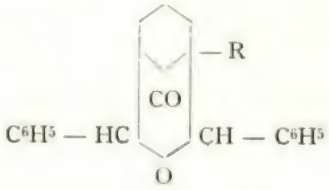


preparada por Sabatier e Mailhe, é amarela.

Parece, pois, que, não há nenhuma razão séria que impeça atribuir a fórmula dicetónica ao corpo amarelo de ponto de fusão 178°-179°, proveniente da condensação do aldeído benzóico com a difenacil-difenil-metana que seria então o tetrafenil -2-4-4-6, dibenzoíl -3-5 tetrahidro-pirano.

Êste composto diferencia-se dos outros derivados tetrahidro-pirânicos descritos anteriormente pela natureza das cadeias que se soldam: em vez de resultar de uma ciclização pelas funções δ-dicetónicas ou pelas funções derivadas, o tetrafenil-dibenzoíl-tetrahidro-pirano aparece na ciclização de um diol 1-5.

Deve notar-se ainda que esta reacção tem muitas analogias com a que forneceu a Haller e Cornubert e depois a Cornubert e aos seus colaboradores, as tetrahidro-pironas-bicíclicas. Estes autores condensando dialcóil ou diaril-ciclanonas com o aldeído benzóico isolaram as combinações do tipo.



São tetrahidro-pironas bicíclicas e vê-se que o seu modo de formação é idêntico ao do tetrafenil-dibenzoíl-tetrahidro-pirano.

*Modo operatório* — Num frasco rolhado com rôlha esmerilada misturam-se 0,4 gr de difenacil-difenil-metana e 0,2 gr de aldeído benzóico, dissolve-se tudo em 5 cm de xileno anidro e junta-se um excesso de etilato de sódio.

O frasco é conservado durante três dias agitando-o de vez em quando, e a massa amarela resultante é depois, retomada pela água. Separa-se a camada de xileno que sobrenada e depois de o ter lavado e secado, evapora-se o dissolvente no vazio, quási até à secura. Juntando um pouco de alcool a cristalização é escorvada e separa-se um corpo amarelo bem cristalizado que funde, depois da purificação a 178°-179° (sôbre bloco). Os seus cristais são solúveis no benzeno e homólogos e no éter, insolúveis no alcool e na ligroina. Exactamente como a difenacil-difenil-metana, apresentam fototropia (ver IV parte).

*Análises:*

Percentagens achadas: C % = 85,92 e 85,95; H % = = 6,19 e 6,07.

Percentagens calculadas para $C^{43} H^{31} O^3$; C % = = 86,24; H % = 5,76.

Percentagens calculada para $C^{43} H^{32} O^2$ (dicetona dietilénica: C % = 89,61; H % = 5,55.

## IV PARTE

## Fototropia

Três dos compostos preparados no decurso dêste trabalho, apresentam o fenómeno da fototropia no estado cristalino.

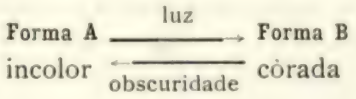
São a difenacil-difenil-metana, a tetrafenil -2-4-4-6 dihidro -1-4 piridina e o tetrafenil 2-4-4-6 dibenzoil -3-5 tetrahidro-pirano.

Tendo em vista o interêsse dêste fenómeno que constitue uma propriedade bastante pouco espalhada, far-se-á preceder as observações sôbre a transformação fototrópica dos corpos já citados, de um breve resumo sôbre os dados que se possuem a êste respeito.

### A — Generalidades sôbre a fototropia

Designa-se sob o nome de «fototropia» a propriedade que possuem certas substâncias de sofrer uma mudança de côr reversível, devida à acção da luz. As substâncias que apresentam esta propriedade são chamadas «fototrópicas».

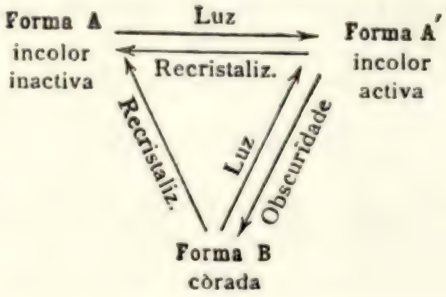
Na maioria dos casos, a transformação fototrópica pode ser representada pelo esquema seguinte, no qual a forma fotoactivada é mais corada que a forma desactivada por repouso na obscuridade.




Quando se apresenta sob esta aparência, o fenómeno é designado sob o nome de «fototropia directa» por oposição com o fenómeno, mais raramente observado, a «fototropia inversa».

Na fototropia inversa a mudança de côr é igualmente reversível mas o processo é até certo ponto invertido. A forma fotoactivada é incolor e a forma de repouso na obscuridade é a forma corada.

Além disso, esta última é diferente da forma normal ordinária, tal como se obtém por cristalização das soluções do produto e que é incolor, como a forma fotoactivada. Em suma, três formas têm de ser consideradas na fototropia inversa, tendo entre elas as relações indicadas pelo esquema seguinte:




Sabe-se que a palavra «fototropia» foi introduzida por Marckwald em 1899 quando observou o fenómeno na β-tetra-cloro-α-naftocetona.

Todavia, a transformação já tinha sido assinalada em 1881 por Phipson num pigmento de base de zinco.

Simultâneamente com a descoberta de Marckwald, a mesma propriedade foi observada por Biltz em certas ozazonas e na fenilhidrazona do aldeído benzoico e depois desta época, numerosas são as substâncias tanto orgânicas

como inorgânicas assinaladas como fototrópicas.

Quanto à fototropia inversa foi observada pela primeira vez em 1914, por Wilson e Heilbron sôbre a semicarbazona do aldeído cinâmico. Outras semicarbazonas estudadas por Gheorghiu, apresentam ainda a mesma particularidade.

Foram assinaladas como possuindo a fototropia várias substâncias sólidas, tanto orgânicas como inorgânicas e também diferentes soluções de corpos que não são fototrópicos no estado cristalino.

Todavia é sôbre o fenómeno que diz respeito aos sistemas sólidos que se possuem mais dados e, de acôrdo com certos autores, é preferível reservar o emprêgo da palavra «fototropia» aos sistemas cristalinos.

No que se segue, não se tratará senão dêstes últimos e limitar-se-ão as referências às substâncias orgânicas.

## B — Classes de substâncias que apresentam fototropia

A fototropia não constitue uma propriedade específica de certas classes de substâncias, mas, no entanto, os corpos orgânicos fototrópicos no estado cristalino, podem ser agrupados num número muito restrito de categorias químicas.

a) *As bases de Schiff*

$$Ar - CH = N - Ar'$$

estudadas por Senier e seus colaboradores e por Gallagher. Em 275 compostos observados encontraram-se 22 que são fototrópicos.

b) *As hidrazonas, ozazonas e semi-carbazonas*

$$Ar - CH = N - NH - Ar'$$

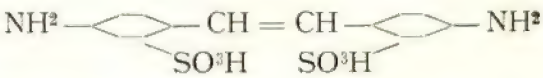
$$\begin{array}{l} Ar - C = N - NH - Ar' \\ \quad\;\; | \\ Ar - C = N - NH - Ar' \end{array}$$

$$\begin{matrix} Ar \\ Ar \end{matrix} > C = N - NH - NH^2 .$$

As duas primeiras classes foram estudadas por Padoa e seus colaboradores, em particular Graziani e Bovini e também por Thormann.

O estudo das semi-carbazonas começado por Wilson e Heilbron, foi continuado por Gheorghiu.

c) *Derivados do estilbeno* — Conhecem-se vários corpos fototrópicos, derivados do ácido 4-4'-diamino-estilbeno-2-2'-disulfónico:



Foram estudados por Stobbe e Malison e por Dünnhaupt.

d) *Os disulfóxidos* — Diferentes derivados do tipo:



apresentam fototropia, mas sòmente em condições especiais.

e) *Fulgidos e derivados*

$$\begin{matrix} R' \\ R' \end{matrix} > C = C - C = O$$
$$\qquad\qquad | \qquad\;\; > O$$
$$\begin{matrix} R'' \\ R'' \end{matrix} > C = C - C = O$$

Estes compostos foram objecto das pesquisas de Stobbe. Conhecem-se 28 fulgidos e 23 ácidos ou sais fulgénicos que são fototrópicos.

Fora destas classes de corpos, encontram-se ainda alguns exemplos diversos de substâncias fototrópicas, mas em número muito limitado; citemos, por exemplo: a β-tetracloro-α-naftocetona, o cloridrato anidro de quinoquinoleina, a tetrafenil-dihidro-triazina, etc.

## C — Particularidades da transformação fototrópica

Possuem-se muito poucos dados quantitativos sôbre a transformação fototrópica. As observações, que foram feitas sôbre a natureza do fenómeno e sôbre os factores que o modificam, podem ser resumidas do seguinte modo:

A mudança de côr tem lugar sòmente no estado sólido, não tendo a luz influência sôbre a substância no estado fundido ou em solução; além disso, se se dissolve a forma còrada, mesmo sem elevação de temperatura, a solução obtida é sempre incolor.

A transformação fototrópica, não modifica, em geral, as propriedades físicas dos corpos que a sofrem; assim o ponto de fusão, as rela-

ções axiais dos cristais, os calores de combustão, etc., ficam idênticos depois da transformação.

O intervalo de tempo necessário para fazer aparecer a côr ou para produzir o descóramento varia dentro de largos limites com a substância em questão. Segundo as pesquizas de Padoa, a velocidade da transformação corresponde quere à de uma reacção monomolecular, quer à de uma reacção bimolecular.

O comportamento do fenómeno fototrópico é, em geral, influenciado pela temperatura que pode agir modificando a absorpção das radiações e também pela sua acção sôbre o efeito reversível. Várias substâncias fototrópicas foram assinaladas como sendo também termotrópicas, quere dizer, como apresentando uma mudança de côr reversível devida às mudanças de temperatura.

Se a transformação fototrópica se repete várias vezes, os corpos podem mostrar uma «fadiga» mais ou menos pronunciada que se traduz pelo aumento do tempo necessário à mudança de côr ou mesmo pela perda das propriedades fototrópicas.

As radiações excitadoras são em geral, de fraco comprimento de onda, azul, violeta e ultra-violeta. O espectro da forma còrada comporta uma nova banda de absorpção ou pelo menos, um deslocamento das bandas de absorpção. Stobbe assinalou o efeito antagonista das radiações de diferente comprimento de onda.

## D — Explicação da Fototropia

A diversidade de substância que apresentam a transformação fototrópica torna difícil a interpretação do fenómeno. Em cada caso foram propostos vários mecanismos, uns de ordem puramente física, outros lancando mão duma transformação química. Todavia, nenhuma das explicações dadas é absolutamente geral e capaz de englobar todos os factos experimentais.

a) *Teorias químicas* — Tôdas as teorias de ordem química tentam explicar a fototropia por uma transformação noutros compostos, de côr diferente. Supõe-se que estas substâncias voltam a dar os corpos primitivos, na obscuridade. Todavia, o facto de não ter sido possível isolar nenhum dêstes corpos hipotéticos constitue um sério obstáculo à aceitação destas teorias.

Chattaway atribue a fototropia da fenilhidrazona do aldeído benzóico a uma isomeria. É também por uma isomeria que Stobbe e Padoa explicam a fototropia dos anils, hidrazona, ozazónas e derivados do estilbeno, Para Senier e Shepheard, a fototropia é uma polimeria. Por fim, Graziani e Bovini, interpretam a transformação fototrópica das hidrazonas como uma isomeria de um tipo especial.

b) *Teorias físicas* — Tendo observado que a $\beta$ — tetracloro — $\alpha$ — naftocetona não era fototrópica senão sob uma única das suas modificações cristalinas, e não o era em solução, e, finalmente, que a transformação fototrópica implicava um aumento de pleocroismo dos cristais, Marckwald tinha concluído daí que o fenómeno estava ligado ao estado cristalino e era de natureza puramente física.

Estas idéias sôbre a fototropia, no caso da $\beta$ — tetracloro — $\alpha$ — naftocetona, foram confirmadas por Stobbe e por Weigert.

Weigert admite que a absorpção da luz produz uma distorsão das órbitas electrónicas e faz entrar a interpretação da fototropia no quadro geral da sua teoria de acção fotoquímica.

Segundo Gallagher é a perda de electrões que sofrem as substâncias fototrópicas expostas à luz que tem como conseqüência uma perturbação na absorpção das radiações.

Muito recentemente Gheorghiu propôs uma nova interpretação do fenómeno fototrópico, baseada sôbre as modernas teorias de Valência. Para explicar a fototropia das semicarbazonas das cetonas dum tipo: Ar — CH = = CH — Co — R, faz intervir a noção de dupla ligação activada, de Lowry, modificada por Dupont. A acção da luz produziria um afrouxamento das duplas ligações, conduzindo a uma outra configuração electrónica, e, portanto, a uma molécula diferentemente còrada.

*
* *

Aqui estão apontadas as diversas teorias propostas para tentar explicar o mecanismo da fototropia. Todavia, a natureza do fenómeno permanece bastante complexo e não foi possível, ainda, fazer entrar todos os factos expe-

rimentais conhecidos no quadro de uma única teoria geral.

As observações descritas a seguir àcêrca da transformação fototrópica de três novos corpos fototrópicos, são de natureza a trazer uma certa contribuïção ao conhecimento do fenómeno

## E — Três novos corpos fototrópicos: A difenacil-difenil-metana, a tetrafenil-2-4-4-6, dihidro-1-4, piridina e o tetrafenil 2-4 4-6 dibenzóil-3-5 tetrahidro-pirano

Estes três derivados, preparados no decurso dêste trabalho, apresentam fototropia no estado cristalino. Todos os três incolores à obscuridade, se tornam violetas por exposição à luz, retomando a côr primitiva uma vez fora da acção das radiações luminosas.

Para a tetrafenil-dihidro-piridina assim como para o tetrafenil-dibenzóil-tetrahidro-pirano, o violeta foi a única côr observada nas formas excitadas, ao passo que, com a difenacil-difenil--metana se observaram tonalidades variando entre o verde amarelado e o violeta. Esta variação de côr induzida parece ligada às dimensões dos cristais.

O intervalo de tempo necessário para produzir uma das transformações varia com o corpo em questão: assim, para a difenacil--difenil-metana e para a tetrafenil-dihidro--piridina a aparição da côr exige apenas alguns minutos, ao passo que o tretrafenil-benzóil--tetrahidro-pirano tem necessidade de uma excitação bastante mais longa. Nos três casos o descòramento na obscuridade é sempre mais lento que a transformação directa (de algumas horas a alguns dias).

Teve-se ainda ocasião de observar o fenómeno de «fadiga» sôbre os três corpos estudados, fenómeno que é no entanto mais marcado com a tetrafenil-dihidro-piridina.

Êste corpo, perde completamente as propriedades fototrópicas depois de uma dezena de transformações reversíveis completas e parece mesmo ser profundamente alterado visto que o seu ponto de fusão desce a 225° (em vez de 235°-236° para o produto puro). Nos dois outros derivados, nenhuma modificação foi observada nas constantes físicas, depois da perda da fototropia e basta nos três casos, uma recristalização para ver aparecer de novo as propriedades.

As soluções dêstes compostos são insensíveis à acção da luz, e se se dissolve uma das formas còradas, mesmo sem elevação de temperatura, a solução obtida é sempre incolor.

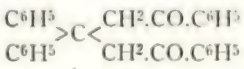
A transformação fototrópica dos corpos em questão é nìtidamente influenciada pelas variações de temperatera: as formas còradas tornam--se instantâneamente incolores por volta de 80°.

Não foi possivel efectuar determinações quantitativas sôbre a natureza das radiações excitadoras, mas algumas observações qualitativas foram feitas a êste respeito: A transformação na forma còrada faz-se, em qualquer dêstes três compostos à luz solar directa assim como tambem à luz difusa mas a velocidade de coloração é singularmente aumentada se a exposição se faz à luz do arco de vapor de mercúrio. Além disso a coloração dum exemplar contido num recipiente de vidro Pyrex é sempre mais lenta que se a parede fôr de vidro ordinário.

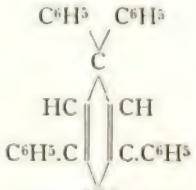
Estas observações permitem concluir que as radiações activas pertencem à região dos pequenos comprimentos de onda, o que está de acôrdo com os dados estabelecidos por diferentes autores.

*
* *

Os três novos corpos fototrópicos, a difenacil-difenil-metana (I) a tetrafenil-2-4-4-6 dihidro 1-4 piridina (II),

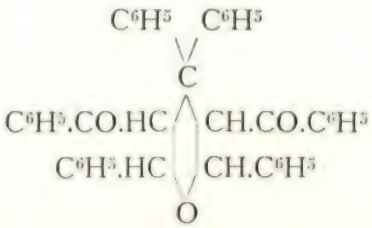


(I)



(II)

e o tetrafenil-2-4-4-6 dibenzol-3-5-tetrahidro-pirano (III).



(III)

pertencem a categorias químicas nas quais a fototropia não tinha ainda sido assinalada. Não se pode pois tentar interpretar o fenómeno aplicando mecanismos já propostos para casos análogos. Por outro lado, as observações descritas anteriormente só por si não me permitem propor um esquema teórico para a interpretação do fenómeno. Tenho, porém, de fazer as seguintes observações:

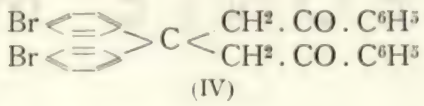
No caso da difenacil-difenil-metana, podia-se, para explicar a fototropia, recorrer a um fenómeno de tautomeria ceto-enólica:

$$\begin{matrix} C^6H^5 \\ C^6H^5 \end{matrix}\!\!>\!C\!<\!\!\begin{matrix} CH^2.CO.C^6H^5 \\ CH^2.CO.C^6H^5 \end{matrix} \rightleftarrows \begin{matrix} C^6H^5 \\ C^6H^5 \end{matrix}\!\!>\!C\!<\!\!\begin{matrix} CH{=}COH.C^6H^5 \\ CH{=}COH.C^6H^5 \end{matrix}$$

Mas esta interpretação parece pouco provável, porque não se observou nenhuma mudança de côr nas reacções onde a forma enólica deve efectivamente intervir.

*A priori*, um mecanismo de ordem electrónico parece mais provável, se se têm em conta os seguintes factos:

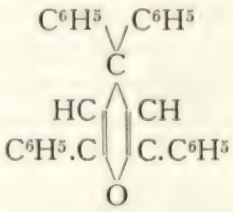
Ao passo que a difenacil-difenil-metana (I) apresenta nìtidamente a fototropia, a difenacil-(p-p'-dibromo)-difenil-metana (IV)



(IV)

não é fototrópica.

Do mesmo modo se se compara a fórmula da tetrafenil-dihidro-piridina (II) que é fototrópica com a do tetrafenil-$\gamma$-pirano (V). que o não é:



(V)

é-se levado a concluir que as propriedades fototrópicas devem provir de um mecanismo intramolecular muito delicado, que as mais pequenas modificações de estrutura são capazes de perturbar.

# FONTE MONUMENTAL

PELO ENG. CIVIL (I. S. T.) JOÃO CARLOS ALVES

A idéia de construir uma fonte alegórica da chegada das águas das novas captações no vale do Rio Tejo a Lisboa, para melhoria do seu abastecimento, tomou vulto quando se pensou nas comemorações centenárias de 1140 e 1640. Logo foi proposta ao Ministro das Obras Públicas e Comunicações que achando a obra boa a despachou favoràvelmente. O arquitecto (1) fêz o ante-profecto que com pequenas modificações foi aprovado. O local a escolher devia ser o mais próximo da chegada das águas do aqueduto ou canal do Tejo, que entram na cidade nos Olivais, onde está projectada a grande estação elevadora destas águas, e vem em conduta até ao prolongamento da antiga Rua da Palma, hoje Avenida Almirante Reis. Assim ocorreu erigi-la na Alameda Afonso Henriques, no seu topo ao Nascente, aproveitando a vertente do môrro do chamado Alto do Pina para fundo e encôsto.

As proporções com que se imaginou a Fonte quadravam bem ao local e à largura da Alameda, e a sua posição dava bem com a mole do Instituto Superior Técnico, que se desenvolve sobranceiramente no tôpo Poente da Alameda. Até a orientação solar da Fonte parecia determinar o seu assento ao Nascente da Alameda, (donde as águas também vêm). Tudo assim combinado fácil foi adaptar o ante-projecto ao local, de acôrdo com a Câmara

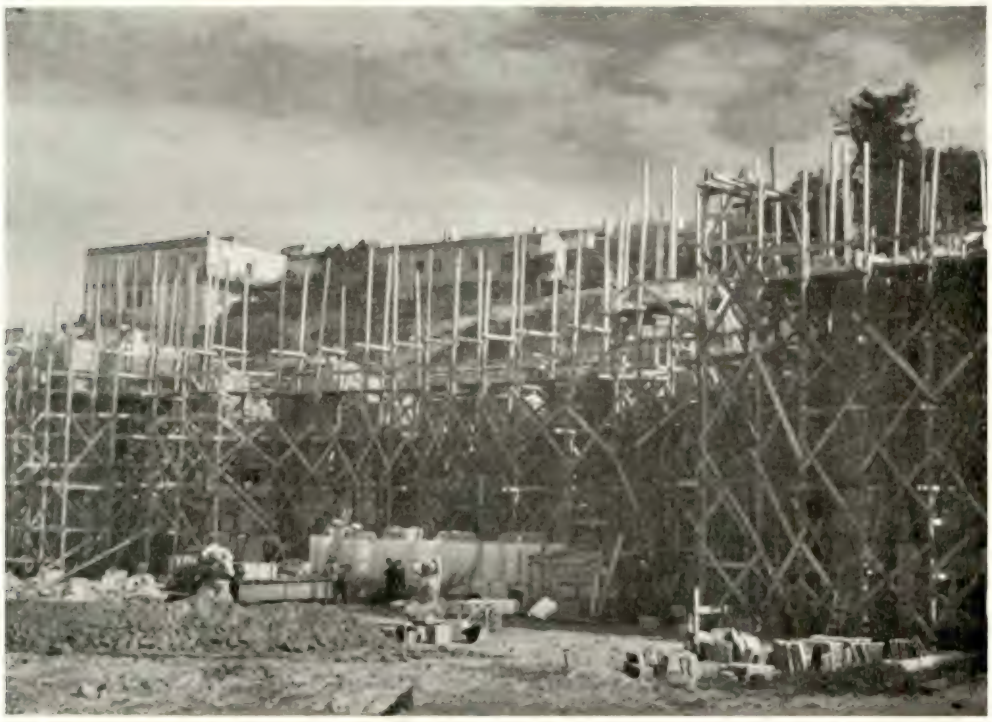


Fig. 1
Fotografia mostrando o estado actual da construção da Fonte

de Lisboa, e passá-lo a projecto foi obra de pouca monta. Feita a seguir a miniatura (maquete) na escala 1 : 20, acusou esta alguns pequenos defeitos de pormenor, que foram reparados, porque em obras desta natureza nunca é demais fazer, desfazer e refazer com vista ao melhor.

*
* *

A fonte é fundamentalmente uma grande muralha de cêrca de 15 m de altura, que figura um açude onde as águas do Tejo estariam simbòlicamente represadas. Desta muralha brota a linfa por treze olhos de águas ou mananciais que cai a jorros para três bacias ou lagos superiores, sendo o do meio o maior. A água transborda e despenha-se em cascata de 5 metros de alto até um lago comum que abraça todo o corpo central da Fonte; depois volta a cair mansamente, porque a queda é pequena, para o grande lago circular donde parece emergir tôda a obra. Aos lados dois gigantes reforçam aparentemente o açude, ao mesmo tempo que enquadram tôda a festa de água.

Uma longa balaustrada sobrepuja a obra e veda um grande terraço, com lagos, canteiros e alegretes, donde se disfruta tôda a Alameda Afonso Henriques e uma parte da cidade voltada ao Poente.

Ao fundo dêste terraço e em todo o comprimento, uma colunata sustenta uma florida latada, para dar sombra e frescura ao recinto.

A Fonte é ladeada por duas amplas escadarias de acesso ao terraço, ao mesmo tempo que a desafoga dos terrenos adjacentes da encosta onde se abrem. Sobranceiras às escadarias correm dois arruamentos, segundo o declive do terreno, que também dão acesso ao terraço da Fonte, e são sustentados por dois muros de suporte que fazem parte do conjunto da obra.

Como elementos decorativos da Fonte figuram nos corpos avançados, a tôda a sua altura

Fig. 2
Maquette do grupo eqüestre (depois ligeiramente modificada) que domina o lago grande da Fonte

acima das portas, dois painéis de baixos relevos (1), que segundo o projecto deviam ser cerâmicos (género majolica), mas que foram substituídos (por menos caros) por pedra azulina de Cabriz. O tema sôbre que versa os painéis é o resumo da história da água como fonte de vida e de riqueza.

As três bacias superiores, que recolhem a água, erguem-se sôbre três largos fustes, ajudados por cariatides de mulher desnudas (as tágides de Camões) (3) dispostas em frisos. São treze, sete no fuste médio e três nos fustes laterais.

No lago grande de baixo (primeiro plano) levanta-se a meio e à sua frente um grupo eqüestre, representando um efebo de cabelos ao vento que simboliza o Tejo cavalgando um corcel marinho. O Tejo segura numa das mãos uma caravela, das muitas que de Lisboa partiram para a grande emprêsa da descoberta e conquista de terras de além mar.

Não está só o Tejo; aos lados quatro graciosas nereidas fazem-lhe côrte.

Estas figuras (4) estão previstas que sejam de bronze, mas dada a carestia e a falta desta liga encara-se fazê-las de pedra.

Fig. 3
Detalhe da maquette do grupo eqüestre, mostrando a figura do Tejo, sustentando, ajudado por um pequeno tritão, uma caravela

A cantaria para a Fonte é a de Cabriz, ao Norte de Sintra, de tom azulado com as arestas chanfradas. Os fustes e as estátuas (cariatides) de lioz.

O caudal da Fonte será de 8.800 metros cúbicos por hora. Êste caudal é repartido pelos olhos de água que debitam 2.700 metros cúbicos.

Fig. 4
Trecho de um dos baixos relevos que ornam os corpos avançados da Fonte Monumental

Como esta água não é bastante para dar cascata fechada na queda das bacias para o lago, são estas alimentadas directamente por um caudal suplementar de 4.500 metros cúbicos. Tôda a água é recuperada, dado o seu enorme volume, por circulação forçada, contando-se apenas com pequeno débito para compensar as perdas por evaporação, pulverização e infiltrações de todo o caudal em movimento.

O grande lago circular, com a capacidade de 1.500 metros cúbicos, serve de reservatório, e os grupos moto-bombas em número de seis, com a potência global de 540 HP, estão alojados nos corpos laterais e no interior dos fustes das bacias do meio e dos lados.

As canalizações que abastecem os olhos de água e as bacias superiores assentam dentro de galerias visitáveis, abertas ao longo e dentro da muralha da Fonte.

De tôdas as figuras (cariatides, tágides e grupo eqüestre) jorra água em profusão (1.100 metros cúbicos por hora) que cai em jactos sôbre o lago maior, e bem assim dos bordos do lago pequeno para reforçar a queda das águas que vêm dos lagos superiores (500 metros cúbicos por hora). A instalação de água está disposta de maneira a conseguir vários jogos de água com caudais e efeitos diferentes.

A iluminação da Fonte e dos jogos de água permite fazer combinações de côres e intensidades variadas, para obter efeitos de grande realce.

A obra da Fonte acha-se em adiantado estado de construção, devendo a empreitada (5) estar concluída no próximo verão. O volume de alvenarias e cantarias é de cêrca de 11.000 metros cúbicos. A direcção e fiscalização da obra está a cargo da Comissão das Obras de Abastecimento de água à Cidade de Lisboa.

---

(1) Carlos Rebêlo de Andrade.
(2) Esculpidos por Jorge Barradas.
(3) Esculturas de Maximiano Alves.
(4) Esculturas de Diogo de Macedo.
(5) Adjudicada a Sanfer, Ltd.ª de Lisboa.

# ASPECTOS DA ELECTRIFICAÇÃO RURAL

## Linhas de alta tensão — Estudo técnico-económico

PELO ENG. ELECTROTÉCNICO (I. S. T.) PAULO DE BARROS

### I — Introdução

O estabelecimento duma rêde rural para distribuïção de energia eléctrica levanta dois problemas que necessitam uma solução comum, embora apresentem exigências contraditórias: a segurança e o preço.

Com efeito, se, por um lado, o consumo disperso e reduzido exige uma construção extremamente económica, e portanto ligeira e fraca, por outro lado a necessidade dum serviço regular, permanente e seguro, as distâncias geralmente grandes, os deslocamentos onerosos, a existência de técnicos locais em número limitado, necessitam uma rêde perfeita e cuidada. Se se adopta a construção barata, a precariedade onera a exploração, e a reduzida capacidade de transporte impede desenvolvimentos ulteriores; pelo contrário, imobilizando muito capital, consegue-se um fornecimento perfeito, mas com encargos de juro e amortização ultrapassando os limites permitidos pela exploração, que assim se torna econòmicamente inviável. Tem pois de se optar por uma solução intermédia, que satisfaça simultâneamente os dois requisitos essenciais.

Se assim não procedermos, caímos em dois aspectos do problema igualmente inconvenientes: ou se pede a contribuïção directa do consumidor para a construção das linhas, e neste caso só um reduzido número de clientes adopta a electricidade, ou se montam instalações que não são remuneradoras, e a exploração cessa por não apresentar interêsse para o distribuïdor.

Em resumo, pode dizer-se que «a técnica das instalações rurais será a conseqüência dum acôrdo entre as duas fórmulas, com predomínio dum material robusto e duma rêde o mais largamente dimensionada que seja possível». (1)

*
* *

Quer se adopte o sistema cooperativo, quer exista uma intervenção directa e activa do Estado, ou ainda, deixando-se inteira liberdade à iniciativa privada, o problema apresentado não se altera nos seus dados essenciais, visto que o capital invertido na instalação deve ser sempre o mínimo compatível com as exigências da técnica. E isso obriga a estudar em pormenor os diferentes elementos constitutivos da linha e procurar as soluções que satisfaçam as equações estabelecidas.

### II — Postes

O poste em madeira é evidentemente o mais barato; vejamos porém se é na realidade o mais económico.

A) *Duração.* A duração dos postes em madeira depende de vários factores, a saber:

1) Espécie da madeira
2) Género de protecção usada
3) Clima
4) Conservação

1) Em Portugal pode dizer-se que a única madeira empregada e de resto a única que é econòmicamente viável é o pinho da terra (Pinus Pinaris); o castanho oferece vantagens inegáveis, mas é muito mais caro e não existe com a mesma abundância.

---

(1) *L'éléctrification rurale; son développement et sa technique* par L. Féraud em *Technique Moderne.*

O inquérito realizado em 1938 para a maioria das nações da Europa permitiu estabelecer a seguinte estatística [1]:

| | |
|---|---|
| Pinho ..... | 76 % |
| Abeto ..... | 18 % |
| Larício ..... | 2 % |
| Carvalho ..... | 2 % |
| Castanho ..... | 2 % |

2) Existem vários processos para proteger os postes de madeira; enunciaremos sumàriamente os principais: [2]

*a*) Imersão
*b*) Injecção
*c*) Vácuo e pressão

*a*) Bicloreto de mercúrio (Kyanisação) — Imersão do poste durante dez dias aproximadamente numa solução fria de sublimado a 2 %;

*b*) Sulfato de cobre (Boucherie) — Injecção sob pressão do sulfato de cobre em solução contendo 1 a 2 kg de sulfato por 100 litros de água;

*c*) Creosota (Rüping) ou sais U. Em autoclave, sob pressão. O sistema Rüping é o mais usado e por isso nos alongaremos um pouco mais sôbre êle. Os sais U (Basilite UA extra-solúvel e Tanalith U) são empregados ùnicamente na Alemanha.

O caderno de encargos tipo para a creosotagem adoptado pela A. G. C. T. T. prescreve as seguintes condições:

A — 1) Os postes de madeira depois de secos serão encerrados num recipiente onde se submeterão a uma pressão de ar de 3 kg/cm². Será então introduzida a creosota que se deverá manter em contacto com a madeira a temperatura superior a 70° C.

Depois disto será a creosota levada a penetrar na madeira por um aumento de pressão que se fará subir até 8 kg/cm².

No mínimo 30ᵐ depois baixa-se a pressão do recipiente e extrai-se a creosota que cresceu. Faz-se então no recipiente um vazio de 60 cm de mercúrio durante algum tempo, o que permitirá a saída do interior dos postes da creosota em excesso;

2) A quantidade mínima de creosota introduzida na madeira será de 80 kg por metro cúbico;

3) A penetração da creosota deverá ser normalmente feita até ao cerne.

B — 1) A creosota empregada na preservação dos postes deve ser constituída por uma mistura de diversos óleos provenientes da distilação do alcatrão da hulha, com as necessárias propriedades antisépticas, e satisfazer às demais condições seguintes:

*a*) Manter-se inteiramente líquida à temperatura de 40° C;

*b*) Ter côr esverdeada e escurecer em contacto com o ar;

*c*) Ter a densidade mínima de 1,015 a 5° C;

*d*) Não ter umidade superior a 1 %;

*e*) Não conter petróleo, nem outros óleos que não sejam os provenientes de distilação do alcatrão da hulha;

*f*) Ser solúvel na benzina;

*g*) Conter pelo menos 15 % de fenois e outros produtos análogos solúveis na soda;

*h*) Não depositar mais de 5 % de naftalina à temperatura de 15° C.

A quantidade mínima de creosota introduzida na madeira varia de país para país (Alemanha 90 kg/m³, Bélgica 100 kg/m³, Itália 70 kg/m³, etc.).

As estatísticas provam de maneira eloqüente, que a creosotagem é na realidade o sistema mais largamente espalhado. Com efeito, podemos apresentar os seguintes números: [1]

| | | |
|---|---|---|
| U. S. A. — 1937 — | Creosota ..... | 73,9 % |
| | Mistura petróleo-creosota.. | 21,2 % |
| | Creosota-cloreto de zinco .. | — |
| | Cloreto de zinco ..... | 2 % |
| | Outros agentes | 2,9 % |
| Alemanha — 1932 — | Creosota ..... | 74,848 % |
| | Sublimado mercúrico e fluoreto de sódio (impregnação mixta) ..... | 17,474 % |
| | Sublimado mercúrico puro .. | 7,193 % |
| | Outros processos ..... | 0,485 % |

(1) *Etude sur les différents procédés de conservation des poteaux de bois pour lignes télégraphiques ou électriques.*

Communication du Dr. Edgar Mörath.

Edité par les soins de l'Office International d'Études pour la Préservation des Bois.

(2) *Etude et construction des lignes électriques aériennes,* par Ch. Lavanchy.

(1) Dr. Edgar Morath, op. cit.

Em resumo, e para a maioria dos países do mundo em 1938, pode estabelecer-se o quadro seguinte:

| | |
|---|---|
| Creosota | 67 % |
| Sublimado mercúrico | 11,8 % |
| Sulfato de cobre | 15,9 % |
| Sais U (Basilite UA, Tanalith U) | 3,1 % |
| Outros agentes de conservação | 0,2 % |
| Não tratados | 2 % |
| Total | 100 % |

Por aqui se vê que a creosota é na realidade o agente mais empregado, e pelo sistema Rüping; e êste facto tem-se vindo acentuando cada vez mais, havendo uma tendência nítida para o desaparecimento dos outros processos.

As durações são muito variáveis, pois dependem das condições climatéricas e das espécies de madeira usadas. Podemos no entanto estabelecer um quadro [1] que nos dará principalmente durações relativas e ordens de grandeza:

| | |
|---|---|
| Creosota | 26 anos |
| Sublimado mercúrico | 18,1 » |
| Sulfato de cobre | 20,9 » |
| Sais U | 16,2 » |
| Outros agentes de conservação | 12 » |
| Não tratados | 9,5 » |

Vê-se que a creosota é sem dúvida o melhor agente de conservação; em Portugal a A. G. C. T. T. usa só postes creosotados. Não é do nosso conhecimento qualquer estatística sôbre duração dêstes postes em Portugal.

Na União Eléctrica Portuguesa, no distrito de Setúbal, começámos a empregar estes postes em 1939, em linhas de alta tensão; não temos ainda, como é óbvio, quaisquer elementos estatísticos de interêsse.

Transcrevemos a seguir as conclusões do estudo do Dr. Edgar Morath sôbre a protecção dos postes de madeira:

«Verificou-se que as grandes Sociedades norte-americanas atribuem uma duração de aproximadamente 50 anos aos postes creosotados. Isto é provàvelmente devido ao facto da percentagem de impregnação usada nos Estados-Unidos ser muito mais elevada que a empregada na Europa.

«É interessante notar que os postes não tratados são em geral constituídos por madeiras como o castanheiro ou o carvalho, que se defendem muito bem a si próprias ou que são utilizadas em regiões climàticamente pouco propícias aos ataques criptogâmicos (Suécia). Além disto, no que diz respeito às madeiras tratadas com sulfato de cobre, é preciso notar que êste tratamento é sobretudo aplicado na França e na Suíça, países em que os parasitas que resistem à acção dêste sal são pouco freqüentes, e, além disso, que para a maioria dos postes tratados pelo sulfato de cobre, a zona crítica de transição terra-ar, particularmente ameaçada, é sempre por precaução, impregnada com creosota.

«No que diz respeito à eficacidade dos sais U, não há ainda tempo para se formar uma opinião definitiva.

«*Embora com algumas restrições, depreende-se de tôda a documentação recebida que a creosota constitue o único agente protector que já prestou as suas provas, e que é inegàvelmente o melhor conservador. O seu domínio de aplicação ultrapassa largamente o de todos os outros produtos similares reünidos.*»

Modernamente, em 1936, surgiu um novo produto para o tratamento das madeiras: o pentaclorofenol, na sua forma estável de sais de sódio; êste produto, solúvel na água, é um veneno enérgico para o bolor, bactérias, algas, protozoários e outros micro-organismos; emprega-se misturado com petróleo e injectado sob pressão; não há ainda tempo para se averiguarem as vantagens dêste sistema.

3) A destruïção dos postes dá-se sempre pela base [1], e é devida a dois tipos de agentes distintos:

1) Parasitas vegetais (fungos).
2) Insectos e vermes.

---

[1] Dr. Edgar Morath — op. cit.

[1] A A. G. C. T. T. exige que os postes creosotados sejam revestidos na ponta e na parte inferior com uma camada espessa de alcatrão ou outro induto, na zona definida pela seguinte tabela:

| Comprimento | Zona de protecção |
|---|---|
| 7 | 0m,80 até 2m,00 a partir do solo |
| 8 | 1m,00 » 2m,30 » » » » |
| 9 | 1m,20 » 2m,50 » » » » |
| 10 | 1m,30 » 2m,70 » » » » |
| 12 | 1m,70 » 3m,10 » » » » |
| 15 | 2m.10 » 3m,90 » » » » |
| 18 | 2m,70 » 4m,50 » » » » |

Tanto os fungos como os insectos se alimentam das substâncias orgânicas constitutivas da madeira, e por isso os antisépticos usados para a protecção dos postes têm justamente por missão o envenenamento da madeira, sem contudo destruir a sua resistência.

Os fungos, para o seu natural desenvolvimento, necessitam ar, umidade e calor; se a madeira estiver completamente impregnada de água, está imunisada; as condições óptimas correspondem a uma umidade média de 25 % a 30 %.

As espécies mais vulgares são o Lentinus Lepideus, o Polystictus Versicolor e o Coriolus Versicolor.

É evidente que a zona do poste onde coincidem as condições favoráveis para o desenvolvimento dos fungos é justamente na base, até $0^m,30$ aproximadamente do solo, e por isso é esta a região que se deve especialmente proteger, como dissemos.

Os principais insectos roedores são a formiga branca e o escaravelho, sendo o primeiro muito mais perigoso.

A formiga branca desenvolve-se especialmente nas regiões tropicais, havendo alguns locais onde é impossível construir quaisquer obras em madeira, pois são completamente destruídas.

O escaravelho vive nos climas temperados; os estragos são causados pelas larvas, que vivem no interior da madeira abrindo galerias em busca do alimento.

O ataque dos postes pelos insectos dá-se também em geral pela base.

Por aqui se vê a enorme influência das condições climatéricas sôbre a vida do poste: humidade e calor favorecem o desenvolvimento dos fungos; certas regiões são especialmente abundantes em insectos destruïdores; e por isso a vida dum poste é sempre um valor médio, que pode sofrer importantes variações conforme a sua localisação.

4) O problema consiste portanto numa conservação cuidadosa e eficaz. Preconiza-se muito o seguinte sistema, que parece dar óptimos resultados:

Processo Cobra. (1)

(1) «*La conservation des poteaux en bois et leur reimpregnation*» par J. Reyval em *Revue Générale de l'Electricité*—16-23 de Março 1940.

Seja qual for o sistema usado para a protecção dos postes, a vida média não excede um período determinado, devido ao desaparecimento progressivo das propriedades fungicidas e insecticidas dos antisépticos empregados. Há portanto grandes vantagens em fazer uma reimpregnação suplementar, principalmente na zona de encastramento, introduzindo por meio de injecções determinadas substâncias, que são levadas para o interior e difundidas uniformemente sob a acção da umidade do solo. A duração média dos postos aumenta assim 8 a 10 anos, como mínimo.

Antes de efectuar a reimpregnação abre-se a fundação numa profundidade de 40 cm, e tiram-se amostras testemunhas por meio duma sonda; admite-se que podem sofrer novo tratamento os postes cuja parte superior está em bom estado e cuja parte enterrada tem 2/3 de madeira sã.

O tratamento faz-se por meio de injecção, com uma agulha achatada com 2 orifícios, a uma profundidade de 6 a 7 cm, sob pressão; o número de injecções depende do diâmetro do poste (70 a 120).

O produto usado tem de obedecer a varias propriedades:

1) Acção tóxica suficiente para destruir os parasitas existentes;

2) Grande difusibilidade, de forma a estender-se por tôdas as zonas;

3) Duração;

4) Não ter acção química sôbre os produtos de impregnação inicial;

5) Não ter acção nociva sôbre a madeira;

6) Solubilidade na água, para se espalhar por capilaridade, mas que deve ser fraca para não desaparecer.

Dentre os vários produtos utilizáveis para realizar a mistura necessária, adoptaram-se os fenois, por oferecerem as melhores condições, e entre estes o dinitrofenol, sob a forma de sais alcalinos; actua sôbre a madeira como uma substância corante, sendo portanto fixado pela fibra; em sais adoptou-se o fluoreto de sódio, notável pelas suas propriedades bactericidas; tem porém uma difusão fácil e rápida, de forma que o fenómeno se passa da maneira seguinte: quando se dá a injecção o dinitrofenol estende-se numa zona de 3-4 cm em volta da picada; as picadas estão afastadas 4-5 cm;

os sais são introduzidos sob a forma de pasta à profundidade de 6 cm; desta forma os sais ficam na parte interior e os fenois na parte exterior; como estes últimos não são arrastados pela água, a protecção é muito eficaz.

Depois dêste tratamento devem-se cobrir os postes com alcatrão, a-fim-de evitar a saída dos produtos injectados, aos quais se junta por vezes ainda arsénio, especialmente indicado pelas suas propriedades fungicidas.

Os ensaios laboratoriais realizados para determinar a eficacidade dêste processo na protecção dos postes foram concludentes, tendo-se verificado que seriam necessários em média 40 anos para se conseguir a contaminação apenas da parte central do poste, excepto para o «coriolis vesicolor», especialmente resistente aos antisépticos, em que êste prazo seria reduzido para 20 anos.

Para a conservação normal dos postes creosotados aconselha-se a abertura da fundação de 3 em 3 anos, para queimar a zona contaminada e pintar-se de novo com alcatrão; o emprêgo dêste sistema tem aumentado sensìvelmente a vida média dos postes.

B) *Resistência mecânica.* Sob o ponto de vista mecânico, o poste de madeira é absolutamente indicado para linhas aéreas, visto que as cargas que deve suportar são da mesma natureza que as incidentes sôbre a árvore, e, além disso, em comparação com o poste de ferro, apresenta a vantagem apreciável da sua grande flexibilidade e resiliência, isto é, suporta sem ruptura grandes esforços dinâmicos.

As características mecânicas são muito variáveis, e por isso tem de se adoptar um elevado coeficiente de segurança.

Em Inglaterra tomam-se para cargas de ruptura valores compreendidos entre 4.000 libras/pol. quad. (280 kg/cm²) para madeiras moles, e 18.000 libras/pol. quad. (1.260 kg/cm²) para madeiras rijas, com o valor médio de 7.800 libras/pol. quad. (545 kg/cm²); em França admite-se o valor médio de 540 kg/cm²; na Alemanha, o V D E preconiza os seguintes valores para a carga normal de trabalho:

Postes impregnados e muito resistentes..... 145 kg/cm²

Postes com madeiras macias não impregnadas..... 80 kg/cm²

A grande redução de carga para a madeira não impregnada justifica-se pelo facto da secção submetida ao maior esfôrço ser pouco a pouco reduzida pela putrefacção.

Segundo Hütte as resistências das diferentes espécies de madeiras são as seguintes: (1)

| Natureza da fadiga | Umidade % | Resistência kg/cm2 | Módulo de elasticidade kg/cm2 |
|---|---|---|---|
| *Pinho* | | | |
| Tracção paralela às fibras ..... | 13 | 790 | 90.000 |
| Compressão paralela às fibras.... | 18 | 280 | 96.000 |
| Flexão..... | 23 | 470 | 108.000 |
| *Abeto* | | | |
| Tracção paralela às fibras ..... | 16 | 750 | 92.000 |
| Compressão paralela às fibras.... | 19 | 245 | 99.000 |
| Flexão ..... | 29 | 420 | 111.000 |
| *Carvalho* | | | |
| Tracção paralela às fibras..... | – | 965 | 108.000 |
| Compressão paralela às fibras ... | – | 345 | 103 000 |
| Flexão ..... | 24 | 600 | 100.000 |

Como a resistência depende da qualidade da madeira, da sua densidade, que é função da idade da árvore, da zona donde se tira o poste, e da natureza do esfôrço, é-se obrigado, como já dissemos, a tomar um coeficiente de segurança elevado. Esta medida justifica-se ainda pela necessidade de evitar flechas exageradas para os postes.

Em França adoptam-se valores compreendidos entre 3 e 5, e em Inglaterra valores iguais a cêrca de 3,5.

(1) *Manuel de l'ingénieur électricien* — Tome I — Rziha et Seidener.

É preciso tomar ainda em consideração que a resistência dos postes em madeira diminue com o tempo, o que justifica plenamente os valores baixos adoptados para a carga de trabalho.

Para igual pêso, a madeira é mais resistente que o ferro, o aço e o formigão; com efeito, a relação entre a resistência por mm² e a densidade dá-nos os seguintes valores:

$$\text{Ferro } \frac{36}{7{,}85} = 4{,}6$$

$$\text{Aço macio } \frac{42}{7{,}85} = 5{,}3$$

$$\text{Formigão } \frac{1{,}5}{2{,}3} = 0{,}65$$

$$\text{Pinho (compressão) } \frac{2{,}8}{0{,}5} = 5{,}6$$

$$\text{tracção } \frac{7{,}9}{0{,}5} = 15{,}8$$

Respeitando as regras elementares estabelecidas, e empregando postes contraventados nos ângulos, obtêm-se linhas com óptimas condições de segurança, resistindo perfeitamente aos esforços a que podem estar sujeitas.

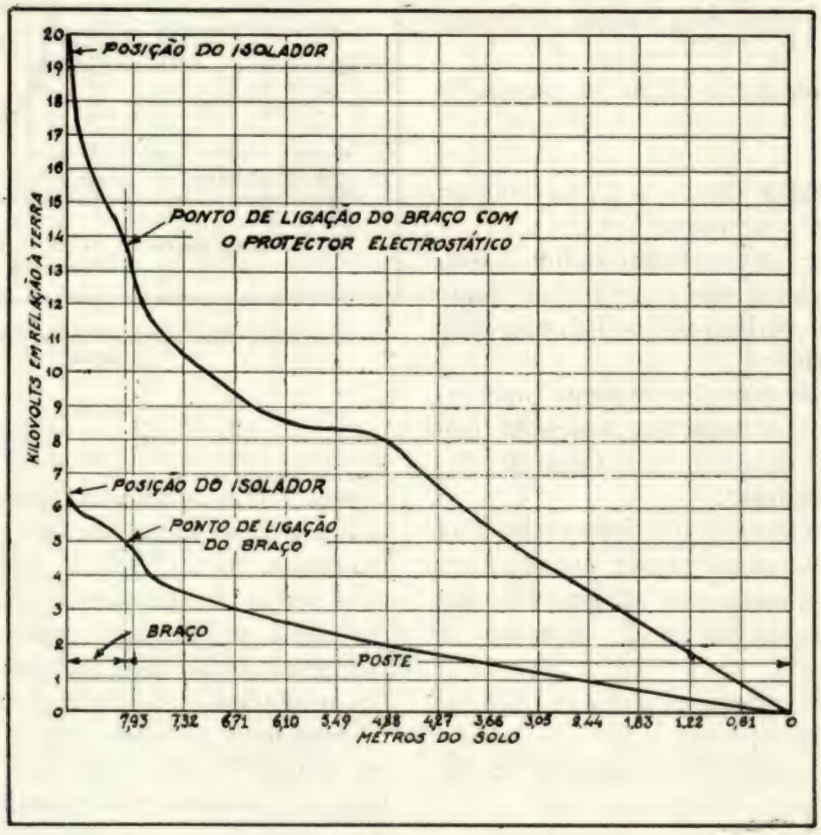
É preciso ainda tomar especial cuidado nas fundações, que devem ser feitas directamente no solo sem auxílio de cimento, e não adoptar vãos grandes para evitar os postes muito altos, o que é inconveniente.

Tivemos ocasião de verificar que em conseqüência do ciclone de Fevereiro de 1941, foram derrubados alguns postes metálicos por insuficiência de fundações (terreno arenoso) ao passo que as linhas com postes de madeira resistiram perfeitamente, não se tendo notado o mais leve prejuízo.

Sôbre o cálculo dêstes postes não vale a pena apresentar ou deduzir fórmulas que se encontram em qualquer tratado.

C) *Isolamento.*

O facto do poste de madeira ser isolante apresenta vantagens e inconvenientes: por um




CURVAS DE POTENCIAL OBTIDAS, A PARTIR DO SOLO, A 19 E 6,35 KILOVOLTS

Fig. 1

lado, em caso de ruptura dum isolador, ajuda a manter a linha em tensão [1] e a não interromper portanto o serviço até reparação da avaria; por outro lado, o desconhecimento da ocorrência pode originar o incêndio do poste ou, o que é mais grave, um desastre por electrocução; o primeiro inconveniente não se apresenta para tensões baixas, mas o segundo deve ser considerado atentamente.

Êste problema levou a estudos completos sôbre o assunto [2] a-fim-de se determinar por meio de ensaios:

*a*) Distribuïção do potencial ao longo do poste e braço em madeira em caso de ruptura dum isolador duma fase e daí deduzir-se:

1) Aspecto geral das condições eléctricas do poste;

2) Estudo preliminar dos perigos de electrocução e de incêndio;

3) Gradiante de potencial e sua influência nos prejuízos citados;

4) Possibilidade de redução do gradiante de potencial na vizinhança do isolador (ponto de gradiante máximo e portanto perigo máximo de incêndio) por meio dum campo electrostático.

*b*) Perigo de electrocução duma pessoa no solo;

*c*) Incêndio;

As curvas obtidas (fig. 1 e 2) permitiram tirar as seguintes conclusões:

1) O protector electrostático reduz o gradiante de potencial a cêrca de metade junto ao isolador, mas verifica-se que isto não evita o incêndio do braço;

2) As curvas são aproximadamente hiperbólicas, com discontinuïdade nos postes de ligação (isolador ao braço e braço ao poste).

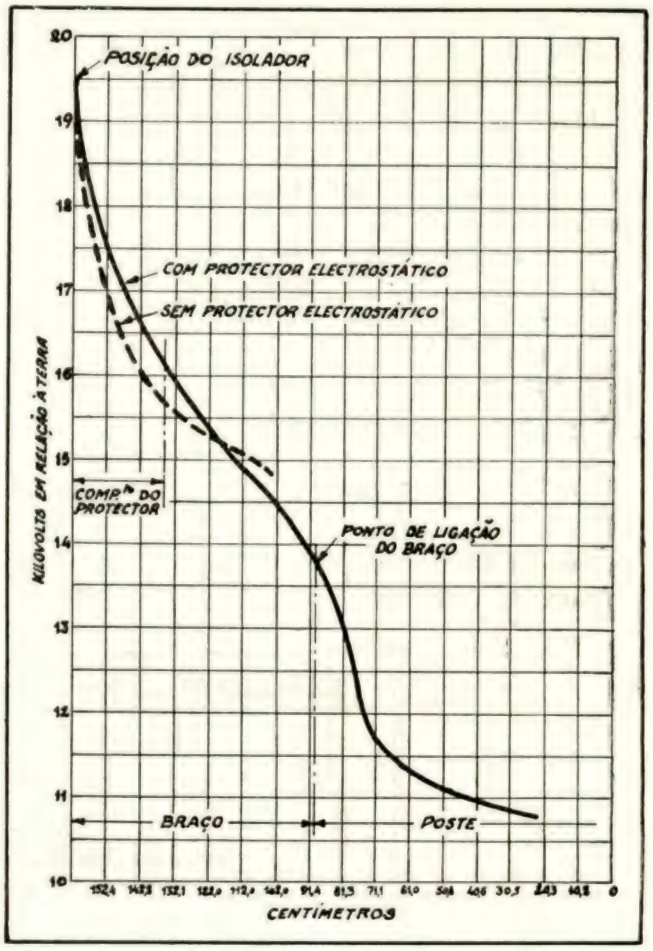
Os ensaios provaram:

1) A ruptura completa do isolamento a 11 kV origina a destruïção rápida do poste em caso de ligação à terra com bobine Petersen;

2) Nesta hipótese, há perigo iminente de electrocução.

Transcrevemos a seguir as próprias palavras do autor dos ensaios:

«Apesar dos graves inconvenientes revelados por estes ensaios, devemos lembrarmo-nos que existem em serviço centenas de milhas de linhas com postes de madeira isolados da terra, com resultados óptimos há muitos anos




CURVAS DE POTENCIAL A 19 kV OBTIDAS A PARTIR DO EXTREMO DO BRAÇO ÚNICO

Fig. 2

e sem terem originado desastres por electrocução, embora as linhas estejam longe de locais habitados.

O perigo de electrocução, na realidade, deve ser baixo, provàvelmente porque as condições perigosas só se dão por uma combinação de circunstâncias, relativamente rara».

Deve notar-se ainda que o facto do contacto ser imperfeito (ter ficado um pouco de porcelana do isolador, e o condutor apresentar um mau contacto com a madeira) ou a madeira estar muito sêca, pode alterar os resultados dos ensaios e modificar as conclusões obtidas,

---

[1] Isto só sucede para tensões relativamente baixas.

[2] *Tests on wood poles* por Garwood em *Electrical Review*, Abril 1940.

donde se conclue a importância dos climas secos para a questão de isolamento da linha.

O facto é que os perigos apontados — e reais — são extremamente reduzidos pelas ocorrências raras das causas primárias, principalmente as rupturas dos isoladores, devendo ainda notar-se que os inconvenientes não são possìvelmente menores que os existentes para uma linha com postes de ferro ligados à terra enquanto não se repara a avaria, e existe o conseqüente perigo de electrocução no poste e queda do condutor em terra.

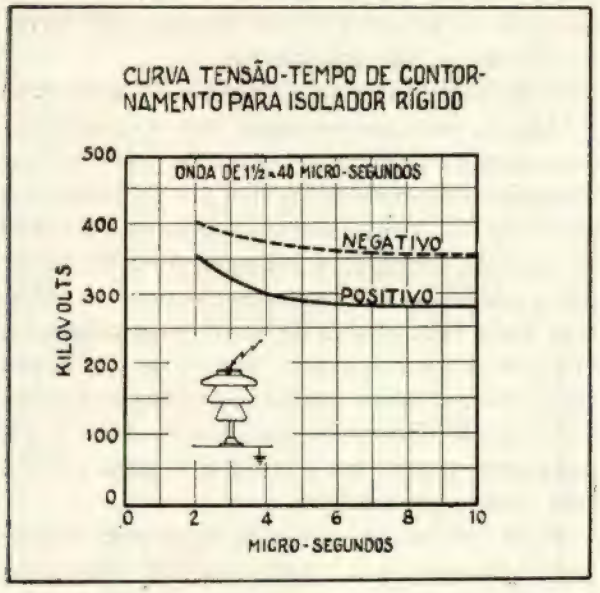



Fig. 3

Resumindo, conclue-se necessàriamente que, para a tensão normal da linha, e nas condições dos ensaios, *a resistência de isolamento da madeira é quási ineficaz,* em virtude da umidade interna; já o mesmo se não pode dizer quanto à sua resistência contra as sobretensões, que depende quási ùnicamente do comprimento do poste e umidade interna, e quási nada do seu tratamento, secção ou natureza. (1)

Fizeram-se ensaios completos nos laboratórios de Ohio Brass Company empregando um gerador de impulsões para 3.000.000 de Volts, a-fim-de determinar a tensão de contornamento para a madeira só, para a madeira com isolador, para madeira sêca ou úmida, sob chuva, etc., e elaboraram-se com os dados obtidos uma série de gráficos dos quais se reproduzem alguns (fig. 3 e 4).

As conclusões obtidas foram as seguintes:

1) A madeira, sendo cuidadosamente escolhida, pode aumentar de maneira sensivel a resistência de isolamento da linha contra sobretensões, o que depende do maior ou menor comprimento do trôço em questão;

2) A resistência de isolamento varia na razão inversa da umidade contida na madeira; assim, por exemplo, para pinho creosotado duplica-se a resistência de isolamento se se reduzir a umidade interna de 35 % para 15 %;

3) Sob o efeito da chuva, a resistência adicional de isolamento da estrutura empregando madeira pode sofrer uma redução de 65 % nos primeiros 3 minutos; em seguida, mantém-se pràticamente constante;

4) A resistência adicional de isolamento devido à madeira não é alterada pelo tipo de creosota, quantidade de creosota ou sistema de tratamento.

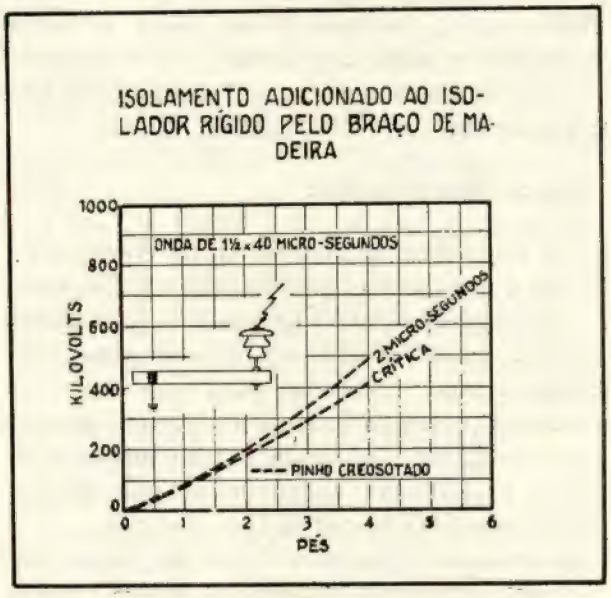



Fig. 4

Vejamos um exemplo de aplicação dos gráficos apresentados:

Supunhamos que queremos determinar a tensão de contornamento do conjunto isolador

(1) *What wood may add to primary insulation for withstanding lightning* by J. I. Lusignan, Jr. e C. J. Miller, Jr.

Em *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.*

rígido 69 kV — braço de madeira de pinho creosotada com 4 pés (1.300 mm).

Temos:

| | |
|---|---|
| Tensão de contornamento do isolador (fig. 3) | 260 kV |
| Isolamento adicional da madeira (fig. 4) | 410 » |
| Tensão de contornamento calculado, a sêco | 670 » |
| Valor de ensaio do conjunto, a sêco | 690 » |
| Relação entre calculado e determinado, a sêco | 0,99 » |
| Factor de redução devido à chuva | 0,65 » |
| Tensão de contornamento calculada, sob chuva | 435 » |
| Tensão de contornamento determinada, sob chuva | 445 » |
| Relação entre calculado e determinado, sob chuva | 0,98 » |

Em resumo, verifica-se que os postes em madeira aumentam de maneira sensível a resistência da linha contra sobretensões, o que é muito importante para a continuïdade do serviço; em caso de rutura do isolador e à tensão normal, há o perigo de incêndio do poste e electrocução; devemos notar que a primeira vantagem é mais importante que a segunda porque, felizmente, a rutura dos isoladores não é freqüente.

D) *Alguns exemplos.*

Na Inglaterra, na Alemanha, na América do Norte e nos países Escandinavos é muito usual o emprêgo dos postes de madeira para linhas de alta tensão, devido ao facto de possuírem espécies muito indicadas para êsse fim; nos restantes países da Europa a madeira é apenas empregada em linhas de tensão média e de pouca importância, mantendo-se uma desconfiança injustificada contra êste material.

Poderíamos descrever inúmeras linhas em postes de madeira construídas nesses países; falaremos apenas duma, ao acaso, porque as outras são idênticas.

Linha construída no Canadá em 1918 para transportar 10.000 kW a 110 km, através duma região arborizada; tensão 120 kV; 3 condutores, postes em madeira com 15 metros de altura; fio de terra no tôpo; 2 fios telefónicos; vão normal 98$^{m}$; nos ângulos empregaram-se pórticos formados por 2 postes. A linha entrou em serviço em 1920.

Em 1924 construíu-se uma segunda linha paralela à primeira, com postes de ferro, 6 condutores, vão 235 metros.

A distância entre as 2 linhas é 18 metros.

Durante os 4 anos em que esteve em serviço ùnicamente a linha com postes de madeira, não houve interrupções de serviço por sobretensões atmosféricas. O isolamento adicional do braço de madeira obrigava a sobretensão a escoar-se pelos pára-raios colocados no extremo da linha.

A linha com postes de ferro, pelo contrário, originou um serviço mau devido a descargas atmosféricas; assim, verificou-se que por 100 km e por ano se obtiveram 1,9 interrupções para a linha com postes em ferro e 0,26 para a linha com postes em madeira.

Pode concluir-se que «não se deve evidentemente abandonar a construção com postes de ferro, que tem outras vantagens, absolutamente insuperáveis; mas pelo menos não se deve afastar *à priori* os postes de madeira, sempre que as disponibilidades financeiras sejam reduzidas e se possa admitir uma duração suficiente para os postes.» (1)

E) *Preços.*

Todos os números a seguir apresentados são referidos a valores antes da guerra, única forma de obter resultados comparáveis.

1) Madeira creosotada

| Altura | Diâmetro a 1$^{m}$ da base | Diâmetro no tôpo | Carga útil a 30 cm do tôpo em kg | Preço na fábrica s/braço |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 18 cm | 13 | 140 | 90$00 |
| 10 | 20 » | 13 | 165 | 100$00 |
| 11 | 23 » | 15 | 225 | 120$00 |
| 13 | 27 » | 18 | 300 | 180$00 |
| 15 | 28,5 » | 18 | 300 | 250$00 |

(1) «*Une expérience satisfaisante à l'actif des poteaux en bois sur lignes électriques à haute tension*» em *Technique Moderne* de 15 de Janeiro de 1939.

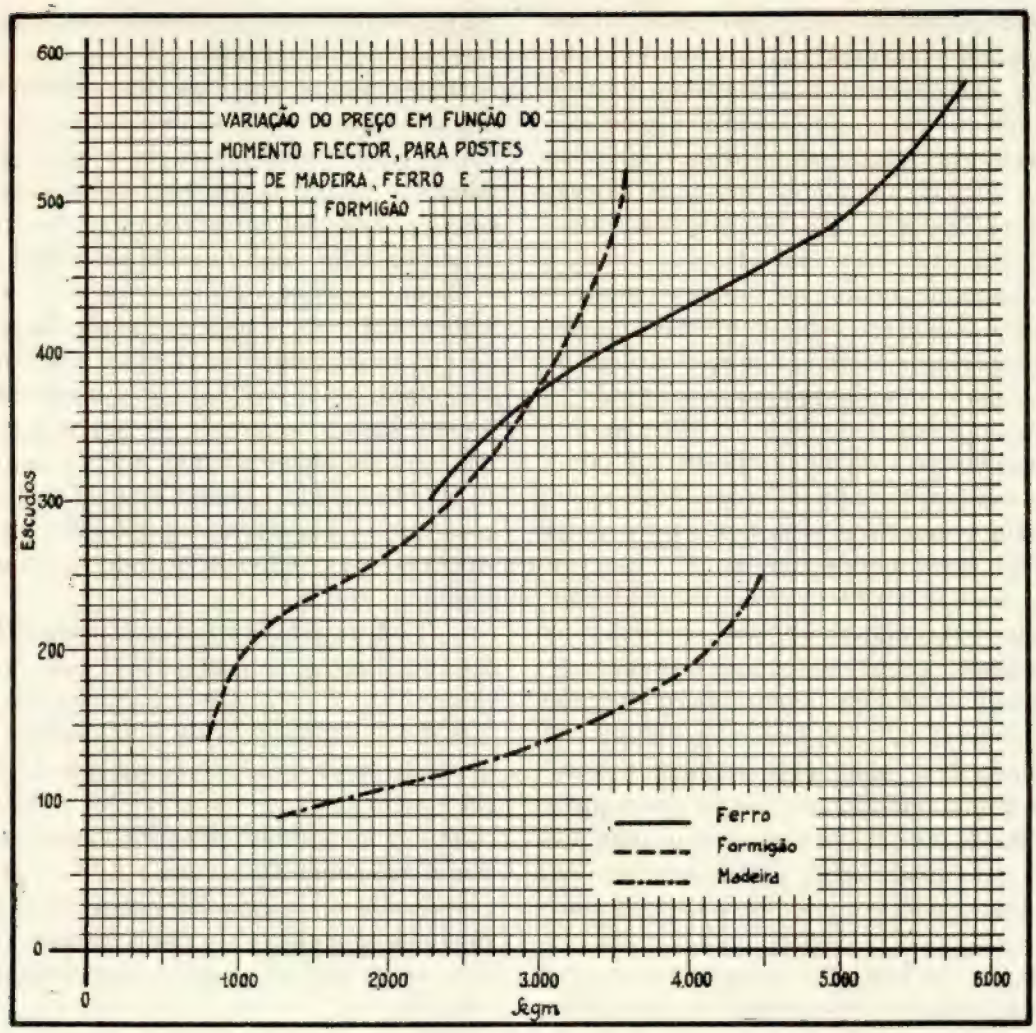



Fig. 5

2) Postes em formigão armado

| Altura | Carga útil a 0m,30 do vértice | Pêso Kg. | Preço na fábrica |
|---|---|---|---|
| 8 | 100 | 380 | 140$00 |
| 9 | 100 | 450 | 167$20 |
| 9 | 300 | 785 | 330$00 |
| 10 | 100 | 515 | 196$80 |
| 10 | 150 | 515 | 235$50 |
| 12 | 300 | 2.200 | 521$00 |

3) Postes em ferro

| Altura | Carga útil a 0m,30 do vértice | Pêso Kg. | Preço na fábrica |
|---|---|---|---|
| 12 | 190 | 225 | 300$00 |
| 13 | 240 | 301 | 380$00 |
| 13 | 380 | 397 | 480$00 |
| 13 | 450 | 478 | 580$00 |

A-fim-de podermos comparar entre si os vários postes, traçamos um gráfico em que figuramos em ordenadas o preço do poste e em abcissas o valor do produto do esfôrço útil pela altura total (valor proporcional ao momento flector). Obtemos assim as curvas indicadas na figura 5, da qual ressaltam nìtidamente as seguintes conclusões:

1) O poste de madeira é inegàvelmente o mais barato; o preço agrava-se mais ràpidamente do que o momento flector, como era de supor, embora não de maneira exagerada; a curva não apresenta pontos de inflexão e é sensìvelmente paralela à dos postes de ferro, com uma diferença média da ordem dos 190$00, isto é, para o mesmo momento flector o poste de madeira custa menos 190$00

2) O poste em ferro tem uma curva com dois pontos de inflexão; quere isto dizer que na primeira zona, até 3.000 kg, ap., o preço sobe mais devagar que o momento flector, sendo depois proporcional até 5.000 kg e mudando em seguinda de sentido; para momentos flectores altos é nìtidamente mais barato que o poste em beton, ficando do mesmo preço para um valor do momento flector igual a 3.000 kg; para valores inferiores é ligeiramente mais caro.

3) O poste em beton tem uma curva com um andamento análogo à dos postes de ferro, apresentando igualmente dois pontos de inflexão em 1.250 kg e em 2.500 kg. O preço varia de maneira extremamente rápida com o momento flector, apresentando uma inclinação tão grande que se tornará proïbitivo para momentos flectores superiores a 4.000 kg.

Para momentos flectores baixos, de ordem dos 800 kg, a diferença entre o poste em beton e o poste em madeira é relativamente pequena, da ordem dos 50$00.

O poste em beton é sempre mais caro do que qualquer dos outros dois tipos, podendo apenas ficar mais barato para valores extremamente baixos do momento flector, inferiores ao que é pràticamente admissível.

## III — Condutores

Para linhas de alta tensão podem-se empregar 3 tipos de condutores:

*a*) Cobre;

*b*) Alumínio — aço, alumínio, ou suas ligas;

*c*) Ferro galvanizado.

Deixemos de parte as controvérsias que se têm levantado entre os defensores do cobre e do alumínio; tanto um como o outro tem vantagens e inconvenientes e, salvo casos especiais, podem ser usados indiferentemente: é, acima de tudo, uma questão de preço.

Vamos apenas examinar os dois materiais mais usualmente empregados nas linhas rurais de alta tensão, ou seja, o cobre e o ferro.

Embora utilizado hoje em larga escala em muitos países, o arame de ferro galvanizado tem muitos inconvenientes, e em muitos livros da especialidade é admitido com tantas restrições que se pode considerar condenado. O seu emprêgo está indicado quando se dá uma das seguintes condições: (1)

1) Transmissão de potência reduzida a uma distância pequena (caso usual das linhas rurais);

2) Em linhas curtas em que a secção mínima depende mais do efeito coroa que da resistência eléctrica;

3) Em vãos muito grandes, para obter resistência mecânica suficiente.

Resumindo: *o condutor em ferro só é admissível quando a carga mecânica for anormalmente alta ou as cargas eléctricas anormalmente baixas.*

As suas vantagens e inconvenientes são as seguintes:

Vantagens:

Preço inicial baixo;

Resistência mecânica elevada.

Inconvenientes:

Reduzida capacidade de transporte;

Vida curta (principalmente em regiões industriais ou marítimas);

Esforços muito elevados nos postes de ângulo ou fim de linha.

Examinemos separadamente cada uma destas alíneas:

A) *Preço.*

Podemos admitir que, em Portugal e antes da guerra, os preços eram os seguintes:

---

(1) *Electrical Design of overhead Power Transmission Lines* by William T. Taylor and R. E. Neale.

Arame de ferro galvanizado: 2$35 o kg;
Cobre em fio: 7$00 o kg.

Considerando que para linhas rurais a secção se determina, regra geral, pela resistência mecânica, não permitindo os regulamentos descer abaixo de certos diâmetros, vamos comparar os preços para as dimensões usuais:

Arame de ferro galvanizado — Diâmetro mínimo 4 m/m (12,5 mm²). Pêso por metro 100 gramas;

Cobre — Diâmetro mínimo 3,6 m/m (10 mm²). Pêso por metro 90,5 gramas.

A relação de preços será por conseqüência:

$$\frac{7 \times 90{,}5}{2{,}35 \times 100} = \sim 2{,}7$$

Em números redondos, pode dizer-se que o *cobre é 3 vezes mais caro que o ferro galvanizado.*

B) *Resistência mecânica.*

No quadro seguinte resumimos as principais características mecânicas dos vários condutores de ferro. (1)

| | Fio de ferro fundido macio | Fio de aço | Fio de aço vazado | Fio de aço vazado especial |
|---|---|---|---|---|
| Pêso especifico | 7,7 | 7,95 | 7,95 | 7,95 |
| Carga de rotura kg/mm² ... | 40 | 60 | 90 | 130 |
| Limite de extensão kg/mm².. | – | 42 | 70 | 110 |
| Limite elasticidade kg/mm² | 14 a 25 | 30 | – | – |
| Módulo elasticidade kg/mm² | 17.000 a 20.000 | 19.000 a 21.500 | 21.500 | 21.500 |

Verifica-se assim que as características mecânicas são variáveis com a qualidade do fio, tendo o ferro fundido macio uma carga de rutura da ordem de grandeza da do cobre.

O aço tem porém um valor muito mais elevado, sendo especialmente indicado em pontos em que é indispensável obter flechas pequenas.

Segundo as normas da A. G. C. T. T., o fio deve:

1) Sem quebrar ou fender, suportar uma carga de 42 kg mm².

O alongamento permanente antes da rutura não deve exceder 18 %.

2) Poder ser dobrado, em ângulo recto, alternativamente em dois sentidos, 4 vezes.

3) Sem quebrar ou fender, torcer-se sôbre si mesmo, num cumprimento de 150 mm, 15 voltas.

Para coeficiente de segurança igual a 3, a carga de trabalho deverá variar entre 13 kg/mm² e 43 kg/mm².

Para o fio corrente do mercado, não se deverá ultrapassar o valor de 15 kg/mm² para carga de segurança.

C) *Reduzida capacidade de transporte.*

A resistência específica de ferro é muito mais elevada do que a do cobre. Assim, temos:

| | | |
|---|---|---|
| Fio de cobre macio | 0,0172 | a 20° C. em ohms mm²/m |
| Fio de cobre semi-duro ..... | 0,0175 | |
| Fio de cobre duro ... | 0,0175 | |
| Fio de ferro fundido macio..... | 0,1257 | para corrente contínua em ohms mm²/m |
| Fio de aço ..... | 0,1760 | |
| Fio de aço vazado... | 0,1760 | |
| Fio de aço vazado especial ..... ..... | 0,204 | |

Isto é, para corrente contínua, a relação das resistividades para os tipos de condutores usualmente empregados é

$$\frac{0{,}1257}{0{,}0172} = \sim 7{,}5$$

Ists é, o arame de ferro vulgar é 7,5 vezes mais resistente elèctricamente do que o cobre.

(1) Rziha et Seidener, op. cit.

Para corrente alterna, que é o que nos interessa, a diferença é ainda maior, visto que a resistência do condutor aumenta com o efeito Kelvin, que é extremamente sensível para o ferro, devido ao elevado valor da sua permeabilidade magnética. Além disso, produz-se ainda no fio uma perda por histeresis, que se traduz igualmente por aumento de resistência ohmica aparente.

O coeficiente k que representa a relação entre a resistência efectiva é função da intensidade da corrente, da sua freqüência, da secção do condutor, e da permeabilidade magnética do material.

É difícil estabelecer fórmulas e tabelas que permitam determinar exactamente o valor de k.

Sendo:

$r_a$ a resistência em corrente alterna
$r_c$ a resistência em corrente contínua
f a freqüência
$\rho$ a resistência específica do metal em microohms/cm³
$\mu_g$ a permeabilidade do metal correspondente à intensidade de campo efectiva à superfície do condutor e estabelecendo $x = 2{,}10^{-2} \frac{r}{2} \sqrt{\frac{F\,\mu_g}{\rho}}$

vem: (1)

$$\frac{r_a}{r_c} = 0{,}758 + \sqrt{1{,}343\,x^2 - 0{,}183} \quad \text{para } x \geqq 1$$

$$\frac{r_a}{r_c} = 1 + 0{,}84\,x^4 \quad \text{para } x < 1$$

Para uma freqüência de 42 ciclos/segundo, obtém-se os seguintes valores:

| I Amp. | d em cm | | | I Amp. | d em cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,303 | 0,418 | 0,485 | | 0,303 | 0,418 | 0,485 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1,62 | 2,38 | 3,28 |
| 1 | 1,4 | 1,6 | 2,0 | 7 | 1,5 | 2,2 | 3,06 |
| 2 | 1,65 | 2,0 | 2,8 | 10 | 1,4 | 1.95 | 2,8 |
| 3 | 1,7 | 2,3 | 3,2 | 15 | 1.25 | 1,7 | 2,5 |
| 4 | 1,7 | 2,4 | 3,3 | | | | |

isto é, a resistência $r_a$ em corrente alterna, para as secções indicadas, aumenta com a corrente até cêrca de 4 amp., e diminue em seguida, chegando a ser 3,3 vezes maior para o diâmetro de 4,85 m/m.

Ensaios feitos pela Indiana Steel and Wire Co permitiram obter os seguintes valores para cabo de aço galvanizado: (2)

| Freq. | Corrente Amp. | d em cm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,71 | | 0,945 | | 0,71 | | 0,192 | | 0,925 | |
| | | aço alta resistência | | Siemens-Martin | | Siemens-Martin | | Siemens-Martin | | Aço macio | |
| | | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r |
| 60 | 5 | 0,6 | 13,1 | 1,2 | 13,8 | 0,8 | 13,6 | 0,2 | 14,1 | 8,0 | 31,4 |
| | 15 | 1,1 | 14,3 | 1,5 | 14,7 | 1,1 | 15,3 | 0,6 | 15,9 | 20,7 | 45,4 |
| | 25 | 1,6 | 15,6 | 2,1 | 15,8 | 1,7 | 16,7 | 0,9 | 17,9 | 51,2 | 61,3 |

p = aumento em percentagem da resistência efectiva devida ao efeito skin.

r = relação entre a indutância interna do condutor e a indutância interna para a permeabilidade igual à unidade.

(1) Rziha et Seidener, op. cit.
(2) Taylor and Neale, op. cit.

Verifica-se assim a enorme diferença entre o condutor maciço e o cabo em relação às conseqüências do efeito skin, e confirma-se a influência da intensidade de corrente sôbre o aumento da resistência.

Na figura 6 inscrevemos a variação da resistência em função da corrente para condutores maciços.

| | Cobre | Ferro |
|---|---|---|
| Relação entre os diâmetros para igual condutibilidade..... | 1 | 2,74 |
| Relação entre os pesos para igual condutibilidade..... | 1 | 6,45 |
| Relação entre condutibilidades para secção igual..... | 1 | 0,134 |
| Relação entre pesos para secção igual ..... | 1 | 0,86 |

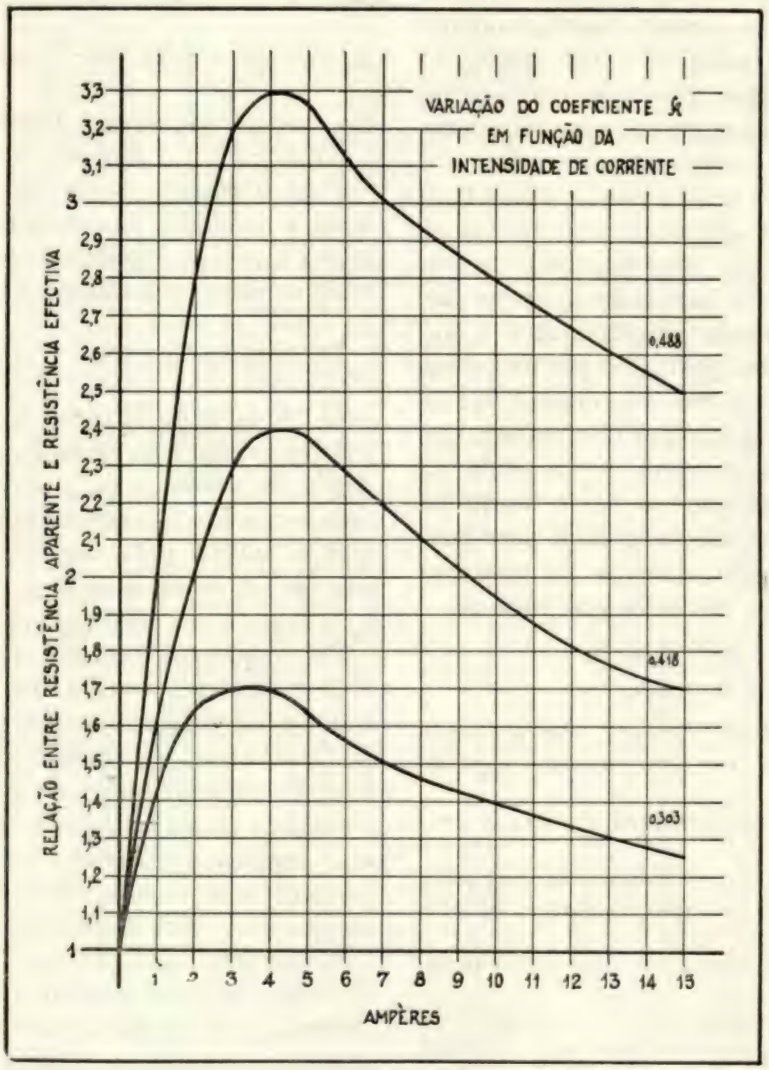



Fig. 6

Para o cobre, e para a freqüência normal e secção vulgares para linhas rurais, o efeito Kelvin não tem influência apreciável.

Vejamos alguns valores comparativos (referimos o *ferro sempre* à c. c.) e consideramos cobre macio e ferro fundido macio:

| | Cobre | Ferro |
|---|---|---|
| Relação entre secções para igual condutibilidade ..... | 1 | 7,5 |

Verifica-se ainda que a relação entre a capacidade de transporte para a mesma queda de tensão ou a mesma perda de potência, em igualdade de tensões, será igual à relação das resistividades, que é, como vimos, 7,5 para corrente contínua. Para corrente alterna e para o diâmetro de 4 m/m êste coeficiente pode atingir o valor de 18.

As normas da A. G. C. T. T. exigem que

a resistência de fio (12,5 m/m²) à temperatura de 0° C. não exceda 9 ohms (êste valor refere-se evidentemente a corrente contínua).

A densidade de corrente, conquanto não seja normalmente um factor a tomar em consideração para o cálculo das linhas de alta tensão, pode ter importância quando se trata de linhas muito curtas; nessa hipótese, pode acontecer que a intensidade de corrente correspondente a uma queda de tensão ou a uma perda de potência determinadas produza um aquecimento excessivo do condutor, capaz de alterar as propriedades mecânicas do material.

Os condutores de secção menor têm relativamente uma superfície de irradiação maior, de forma que suportam uma densidade de corrente mais elevada do que os de maior secção.

É impossível calcular directamente o aumento de temperatura produzido por uma dada corrente, porque, além das diferenças entre as facilidades de refrigeração nos diferentes casos, a potência perdida no condutor depende da sua resistência, que por sua vez é função da temperatura. A corrente necessária para produzir um determinado aumento de temperatura pode porém ser calculada pela fórmula

$$I = \sqrt{\frac{D^3 \, t \, \pi^2 H}{4 \, R \times 0{,}24}} \quad (^1)$$

em que

I é a intensidade de corrente, em ampères

D o diâmetro do condutor maciço equivalente, em cm

t o aumento de temperatura em graus centígrados

H o coeficiente de irradiação = 0,0003 para condutores maciços, = 0,000344 para condutores em cabos

R resistência em ohms por cm³, à temperatura final

0,24 calorias correspondentes a 1 Joule

O V. D. E. fixa os seguintes valores da corrente máxima admissível para as diversas secções:

| Secção mm2 | Intensidade Amp. | |
|---|---|---|
| | Cobre | Ferro |
| 6 | 31 | 12 |
| 10 | 43 | 17 |
| 16 | 75 | 30 |
| 25 | 100 | – |
| 35 | 125 | – |
| 50 | 160 | – |

(1) Taylor and Neale, op. cit.

Por consequência, ainda sob êste ponto de vista, a capacidade de transporte do condutor em cobre é muito superior à do condutor em ferro.

A resistência do condutor é ainda largamente influenciada pelo valor da permeabilidade. Com efeito, a indutância para uma linha monofasada é dada pela expressão

$$L = \left(\mu + 4 \log \text{nat.} \frac{2a}{d}\right) 10^{-4} \text{ Henri/km}$$

em que *a* representa a distância em cm entre condutores e *d* o diâmetro do condutor em cm.

Para o cobre o valor da permeabilidade é igual à unidade, ao passo que para o ferro é muito superior, e portanto o valor de L é muito mais elevado para o ferro do que para o cobre.

D) *Vida curta*

O condutor de ferro ou aço galvanizado tem evidentemente uma duração menor que o condutor de cobre, pois, por mais perfeita que seja a camada protectora, nunca se pode evitar que o ataque pelos agentes atmosféricos se não realize ao cabo de alguns anos e promova a destruïção do condutor. (1)

Por inquéritos realizados conclue-se que a vida média dos condutores de ferro galvanizado é da ordem dos 10 a 15 anos, valor que pode ser muito alterado pelas condições climatéricas (maior umidade, ar marítimo, etc.), por condições locais especiais (atmosfera impura em regiões industriais) ou por fenómenos normais de exploração duma linha de alta tensão (arco, atrito entre o condutor e o isolador, etc.).

A condição essencial para um bom condutor de ferro zincado consiste numa galvanização perfeita, que se realiza por imersão em zinco fundido; é essencial obter uma camada de

(1) Ensaios feitos em 1939 na Universidade Imperial de Tohaku (Japão) provaram que o condutor de cobre sob a acção prolongada da corrente eléctrica, sofria também uma redução parcial das suas qualidades mecânicas e um aumento da sua condutibilidade.

Para condutores de 6 m/m², 19,6 m/m² e 44 m/m², e densidades de corrente de 0,9 0,3 e 0,01 ampères/mm², constatou-se que o abaixamento médio da resistência mecânica é da ordem de 1,5 %, podendo atingir 3 %; a resistividade diminue também, com limites compreendidos entre 0,002 % e 0,0075 %, conforme a secção.

espessura conveniente, uniforme e bem aderente ao ferro.

Os ensaios de recepção têm justamente em vista verificar estas qualidades.

A A. G. C. T. T. fixa os seguintes ensaios de recepção:

1.º — A camada de zinco deve ter tal espessura que o pêso do zinco corresponda a 170 gramas por metro quadrado de superfície ou seja 2 gramas por metro de comprimento (fio 4 m/m);

2.º — O fio deve poder enrolar-se sôbre um cilindro de 0,03 m de diâmetro sem que a camada de zinco se fenda ou se separe;

3.º — O fio deve suportar 7 imersões, feitas durante um minuto sucessivamente em uma solução de sulfato de cobre em 5 vezes o seu pêso de água, sendo o fio convenientemente limpo depois de cada imersão.

No fim da última operação não devem aparecer manchas vermelhas extensas ou parciais mostrando a superfície nua do ferro.

Por experiências realizadas ùltimamente conclue-se que estas normas de recepção não são perfeitas, isto é, não provam de maneira evidente que a camada de zinco seja suficientemente aderente, espessa e uniforme.

Os pontos a determinar nestes ensaios foram os seguintes: (1)

*a*) Factores determinantes do valor da camada de zinco;

*b*) Duração do fio de ferro galvanizado;

*c*) Normas de recepção.

Os ensaios práticos, realizados durante 5,5 anos, por meio de fios estendidos em quadros, expostos à intempérie, permitiram tirar as seguintes conclusões:

1) A condição essencial na especificação dum fio de ferro galvanizado é a espessura da camada de zinco, e como tal os cadernos de encargos devem ter uma cláusula relativa a esta condição.

2) O ensaio em sulfato de cobre deve ser abandonado, porque permite aceitar igualmente fio de boa e má qualidade.

Com efeito, estes ensaios deram, segundo os casos, perdas de pêso de 3 % a 58 % do pêso total de zinco, sem razões justificativas de tal diferença.

(1) *Corrosion par les agents atmospheriques du fil de fer galvanisé* em Revue de la Métallurgie — Agôsto de 1939.

E) *Esforços muito elevados nos postes de ângulo ou fim de linha.*

É uma conseqüência da elevada resistência mecânica do condutor e apenas tem importância quando se empregam aços de alta qualidade para se conseguirem vãos grandes. Para linhas rurais êste inconveniente não se apresenta.

## IV — Linhas de alta tensão

Estudados separadamente os dois principais elementos constitutivos da linha — os postes e os condutores — vamos agora determinar a sua influência sôbre o conjunto. Pondo de parte o poste em formigão — por ser mais caro — faremos o estudo comparativo das seguintes soluções:

I) Linha com postes de madeira creosotada e condutores de ferro galvanizado;

II) Linha com postes de madeira creosotada e condutores de cobre;

III) Linha com postes de ferro e condutores de ferro galvanizado;

IV) Linha com postes de ferro e condutores de cobre.

As linhas são monofasadas; tensão 6 kV entre fases.

A) *Encargos financeiros.*

A-fim-de fixarmos as caracteristicas das linhas de forma que as várias soluções sejam equivalentes, temos de calcular o vão duma linha em postes de madeira correspondente ao vão duma linha em postes de ferro.

Desde que sejam fixados à priori os tipos de postes a adoptar, verifica-se a seguinte relação aproximada:

$$\frac{a}{a_1} = \frac{F}{F_1}$$

sendo a e $a_1$ os vãos e F e $F_1$ os esforços na cabeça para os postes escolhidos.

Para o nosso caso, adoptando postes de madeira com $9^m$ de altura total e postes de ferro com 12 metros, os esforços na cabeça serão, como vimos

$$\begin{cases} F = 140 \text{ kg} \\ F_1 = 190 \text{ kg} \end{cases}$$

e portanto

$$\frac{a}{a_1} = \frac{140}{190} = \sim 0{,}74$$

Se estabelecermos para vãos da linha com postes de madeira

$$a = 65 \text{ m} \quad \text{vem} \quad a_1 = \frac{65}{0{,}78} = 88 \text{ metros}$$

isto é, o vão equivalente da linha com postes de ferro é 88 metros.

Vamos agora determinar o preço quilométrico das várias soluções adoptadas:

I) Linha monofasada com postes de madeira creosotada e condutores de ferro galvanizado (vão médio 65 metros)—Solução madeira-ferro.

*Material*

| | | |
|---|---|---|
| 15 postes de madeira c/9 metros a 90$00 . . . | 1.350$00 | |
| 15 braços de madeira a 10$00 . . . . . | 150$00 | |
| 1 poste de refôrço (em ferro) . . . . . | 570$00 | |
| 48 isoladores c/suporte a 18$00 . . . . . | 864$00 | |
| Fundações: 5,75 m³ de cascalho a 21$00 . . | 120$75 | |
| 0,70m³ de areia a 6$00 . | 4$20 | |
| 250 kg de cimento a $25 | 62$50 | |
| 200 quilos de arame de ferro galvanizado a 2$35 . . . . . | 470$00 | |
| Diversos . . . . . | 100$00 | 3.691$45 |
| *Mão de obra* . . . . . | | 2.770$00 |
| Preço quilométrico . . . . . | | 6.461$45 |

II) Linha monofasada com postes de madeira creosotada e condutores de cobre — Solução madeira-cobre.

Basta substituir o ferro pelo cobre no orçamento anterior:

| | |
|---|---|
| 181 kg de cobre a 7$00. . . . . | 1.267$00 |
| Preço quilométrico total. . . . . | 7.258$45 |

III) Linha monofosada com postes de ferro e condutores de ferro galvanizado (vão médio 88 metros) — Solução ferro-ferro.

*Material*

| | | |
|---|---|---|
| 10,5 postes elásticos de ferro c/12m a 300$00 . | 3.150$00 | |
| 10,5 braços de ferro a 20$00. . . . . | 210$00 | |
| 0,5 poste de refôrço . . | 285$00 | |
| 33 isoladores c/suporte . | 594$00 | |
| Fundações: 13m³,6 cascalho a 21$00 . . . . | 285$60 | |
| 4m³,55 de areia a 6$00 | 27$30 | |
| 1.515 kg de cimento a $25 . . . . . | 378$75 | |
| 200 kg de arame de ferro galvanizado a 2$35 . | 470$00 | |
| Diversos . . . . . | 160$00 | 5.560$65 |
| *Mão de obra* . . . . . | | 3.200$00 |
| Preço quilométrico total . . . . . | | 8.760$65 |

IV) Linha monofasada com postes de ferro e condutores de cobre — Solução ferro-cobre.

Basta substituir o ferro pelo cobre no orçamento anterior:

| | |
|---|---|
| Preço quilométrico total. . . . . | 9.557$65 |

Resumindo:

| | |
|---|---|
| Linha c/postes de madeira e conductor de ferro galvanizado . . | 6.461$45 |
| Linha c/postes de madeira e condutor de cobre. . . . . | 7.258$45 |
| Linha c/postes de ferro e condutor de ferro galvanizado . . . . . | 8.760$65 |
| Linha c/postes de ferro e condutor de cobre . . . . . | 9.557$65 |

*N. B.* — Os cálculos dos preços quilométricos foram feitos nas seguintes bases:

*a*) Não se consideram encargos de expropriações, estudos e organização de projectos, licenciamento, etc., em virtude de representarem despesas constantes que não correspondem a valores reais;

*b*) Os preços são referidos ao período antes da guerra; para a areia e o cascalho foram considerados preços locais, que podem variar muito de região para região.

*c*) Existência dum poste rígido de refôrço de 15 em 15 postes elásticos;

*d*) Para as fundações adptaram-se as seguintes quantidades de materiais:

Madeira — 0,$^{m3}$250 de cascalho
Ferro-Refôrço — 2$^{m3}$ de cascalho
0$^{m3}$,700 de areia
300 kg de cimento
Ferro-Elástico — 1$^{m3}$,2 de cascalho
0$^{m3}$,400 de areia
130 kg de cimento

*e*) Não se consideraram encargos de transporte por serem eminentemente variáveis com o local da linha, e sensìvelmente constantes para qualquer tipo de linha;

*f*) Nos «diversos» estão incluídas filassas, placas, chapas de terra e sinalização, etc.

*g*) A determinação do preço quilométrico de mão de obra foi feita tendo em atenção os seguintes elementos:

Despesa de montagem por poste (mão de obra)

| Tipo de poste | Levantamento do poste | Fundações | Isoladores | Condutores | Pintura | Diversos | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Madeira ... | 51$50 | 58$50 | 5$50 | 21$00 | 7$20 | 6$30 | 150$00 |
| Ferro elástico ..... | 75$00 | 125$60 | 5$50 | 30$00 | 34$00 | 9$90 | 280$00 |
| Ferro rígido..... | 154$00 | 264$50 | 5$50 | 25$00 | 60$00 | 11$00 | 520$00 |

Para o cálculo dos encargos anuais quilométricos estabelecemos as seguintes hipoteses:

1) Juro anual de 6 %

2) Amortização — Poste de madeira 20 anos
Poste de ferro .... 30 anos
Condutor de ferro 10 anos
Condutor de cobre 30 anos
Restantes elem.$^{tos}$ 30 anos

3) Conservação — Pintura dos postes de ferro — 34$00 e 60$00 por poste de 7 em 7 anos.
Poste de madeira — Conservação do encastramento 6$00 por poste de 3 em 3 anos.

O quadro seguinte contém os resultados a que se chegou; deve notar-se que para o cálculo de amortização se adicionou sempre à verba material a correspondente verba de mão de obra.

| | Poste de Madeira | | Poste de Ferro | |
|---|---|---|---|---|
| | Condutor Ferro | Condutor Cobre | Condutor Ferro | Condutor Cobre |
| Juro ..... | 387$69 | 435$51 | 525$64 | 573$46 |
| Amort. Postes... | 205$19 | 205$19 | 234$33 | 234$33 |
| Cond. ... | 81$00 | 52$48 | 80$00 | 53$18 |
| Rest. .... | 38$53 | 38$53 | 30$76 | 30$76 |
| Conservação .... | 38$60 | 38$60 | 61$10 | 61$10 |
| Total..... | 751$01 | 770$31 | 931$83 | 952$83 |
| % sobre o preço quilométrico... | 11,6 % | 10,6 % | 10,6 % | 9,95 % |

Verifica-se portanto que a solução «Poste de madeira e condutor de ferro galvanizado», para as condições adoptadas, é inegàvelmente a mais económica sob o ponto de vista de encargos de capital e que o poste de madeira permite sempre construir linhas mais baratas do que o poste em ferro, isto é, a *solução poste de madeira é na realidade a mais económica.*

Vejamos agora a questão sob o ponto de vista do condutor.

B) *Encargos provenientes das perdas.*

A questão das perdas deve ser examinada com extrema atenção, pois tem uma considerável importância, muito maior do que aquilo que se supõe à primeira vista. Regra geral, a linha é calculada ùnicamente sob o ponto de vista da queda de tensão, e não se determinam com o devido cuidado os encargos financeiros provenientes das perdas de potência. Ora, se êste critério é admissível para as linhas normais de cobre e de alumínio, já o mesmo não se dá com as linhas de ferro, em que a resistência é, como vimos, muito superior às dos outros dois metais. Acresce a isto uma reatância mais elevada também, devido ao facto da permeabilidade magnética do ferro ser superior à unidade.

Tudo isto nos leva a estudar o assunto com todo o pormenor, para o que teremos de estabelecer determinadas hipóteses, a saber:

*a*) Utilização anual da ponta; para uma carga de natureza rural, e num país com fraco desen-

volvimento, não se deve ultrapassar o valor de 1.000 horas.

*b*) Preço do kWH; a determinação dêste valor depende duma série de factores e tem de ser fixada para cada caso consoante as características da distribuïção. Assim, se se tratar duma distribuïdora que adquira energia segundo uma determinada tarifa, os kWh perdidos serão pagos segundo essa tarifa; se a distribuïdora produzir a sua energia, os kWh perdidos terão, além do seu valor de produção, os encargos de distribuïção até ao ramal de que se trata; o facto da produção ser hídrica ou térmica permite ainda fixar valores diferentes para o kWh, que dependerá igualmente da forma do diagrama de carga.

Na impossibilidade de estabelecer uma base científica para a determinação dêstes valores, vamos admitir que o kWh custa qualquer das três seguintes quantias:

$$\begin{cases} c = \$50 \\ c = \$25 \\ c = \$10 \end{cases}$$

Estes valores *não têm realidade e não correspondem a caso nenhum concreto;* são fixados *ad hoc* e apenas para nos facilitarem conclusões; representam pontos dum gráfico que nos permitirão em seguida fazer as necessárias interpolações ou extrapolações.

*É preciso não perder de vista que os resultados obtidos serão apenas válidos para as hipóteses estabelecidas.*

O facto da resistência e da reatância serem funções da intensidade de corrente dificulta a determinação da potência a transmitir de forma a não ultrapassar determinada queda de tensão; com efeito, torna-se necessário proceder por tentativas até se encontrar um valor de impedância tal que multiplicado pelo valor correspondente da corrente origine a queda de tensão adoptada.

Êste problema, em regra, não se põe em linhas rurais; as cargas são sempre reduzidas e atende-se, na determinação da secção do condutor, mais à resistência mecânica do que a qualquer outro factor.

Para determinar os encargos correspondentes às perdas vamos efectuar os cálculos para linhas monofasadas de ferro e cobre de comprimentos variáveis entre 1 quilómetro e 10 quilómetros, e para potências entre 40 e 5 kW, com o factor de potência igual a 0,8.

Os condutores têm as seguintes caracteristicas:

| | | |
|---|---|---|
| Ferro | Diâmetro. . . . . | 4 mm |
| | Secção. . . . . | 12,57 mm² |
| | Resistência em corrente contínua. . | 10 ohms/km |
| Cobre | Diâmetro. . . . . | 3,6 mm |
| | Secção. . . . . | 10,18 mm² |
| | Resistência . . . . | 1,596 ohms/km |

Calculemos então o valor da resistência $R_a$ (fig. 6) da permeabilidade magnética $\mu$, da reatância x e da impedância z, tudo referido à unidade quilométrica, e seguidamente da queda de tensão e da perda de potência.

| P kW | I Amp | $R_a$ Ohms | $\mu$ | x Ohms | z Ohms | e % | p kW | p % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 8,32 | 20,8 | 690 | 22,5 | 30,7 | 8,6 | 2,9 | 7,25 |
| 30 | 6,24 | 22,7 | 885 | 28,6 | 36,5 | 7,7 | 1,8 | 6 |
| 20 | 4,16 | 24 | 1030 | 33,0 | 40,8 | 5,7 | 0,82 | 4,1 |
| 10 | 2,08 | 20,4 | 665 | 21,6 | 29,7 | 2,06 | 0,18 | 1,8 |
| 5 | 1,04 | 16 | 320 | 10,4 | 19,1 | 0,67 | 0,03 | 0,6 |

A queda de tensão em % é dado por

$$e = \frac{2IZ}{E} \times 100$$

e as perdas totais em % por

$$p = \frac{2RI^2}{1000 \times P}$$

*N. B.* — 1) A reatância é calculada para a hipótese de afastamento entre condutores igual a 1m.

2) Os cálculos foram feitos empregando a régua de cálculo; a imprecisão obtida é aparente, pois a resistência $R_a$ estabelecida é variável com a composição do ferro; além disso, os valores adoptados só são exactos para uma qualidade determinada do metal.

Para a linha em cobre obtemos os seguintes valores para a queda de tensão e para as perdas: (R = 1,569 ohms/km x = 0,8 ohm/km z = 1,76 ohm/km)

| Potência kW | I Amp. | e % | p | |
|---|---|---|---|---|
| | | | kW | % |
| 40 | 8,32 | 0,49 | 0,22 | 0,55 |
| 30 | 6,24 | 0,37 | 0,12 | 0,4 |
| 20 | 4,16 | 0,24 | 0,054 | 0,27 |
| 10 | 2,08 | 0,12 | 0,014 | 0,14 |
| 5 | 1,04 | 0,06 | 0,003 | 0,06 |

Vamos agora determinar os encargos anuais de perdas para as várias hipóteses de preço, para as diversas potências e para diversos comprimentos, estabelecendo como condição limite a queda de tensão não ultrapassar cêrca de 10%.

O quadro abaixo indica-nos os comprimentos máximos correspondentes às potências fixadas para que a queda da tensão não ultrapasse 10%, as perdas anuais por quilómetro para a utilização de 1.000 horas, e os encargos correspondentes para valores do kWh respectivaments de $50, $25 e $10.

| Pot. kW | Comp. Max. Km | Queda Tens. Ferro % | Perdas anuais Km | | Perdas-encargos anuais em esc/Km | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ferro | | | Cobre | | |
| | | | Ferro | Cobre | $50 | $25 | $10 | $50 | $25 | $10 |
| 40 | 1 | 8,6 | 2900 | 220 | 1450$00 | 725$00 | 290$00 | 110$00 | 55$00 | 22$00 |
| 30 | 1 | 7,7 | 1800 | 120 | 900$00 | 450$00 | 180$00 | 60$00 | 30$00 | 12$00 |
| 20 | 2 | 11,4 | 820 | 54 | 410$00 | 205$00 | 82$00 | 27$00 | 13$50 | 5$40 |
| 10 | 5 | 10,3 | 180 | 14 | 90$00 | 45$00 | 18$00 | 7$00 | 3$50 | 1$40 |
| 5 | 15 | 10,05 | 30 | 3 | 15$00 | 7$50 | 3$00 | 1$50 | $75 | $30 |

C) *Encargos totais.*

Podemos agora determinar fàcilmente os encargos totais quilométricos em função da potência para os diversos tipos de linha e vários preços do kWh. Como a solução com postes de ferro é sempre mais cara que a solução com postes em madeira, como já vimos, não vale a pena considerá-la; basta-nos comparar as hipóteses postes de madeira-condutor de ferro (madeira-ferro) e postes de madeira-condutores de cobre (madeira-cobre), adicionando aos encargos financeiros os encargos provenientes das perdas. Os resultados constam do quadro seguinte :

Representamos gràficamente estes resultados nas figuras 7, 8 e 9. Na figura 7 temos as curvas de variação dos encargos anuais em função das potências para as duas soluções e diversos valores do kWh. A figura 8 é uma ampliação de parte da fig. 7, na zona de intersecção das curvas, a-fim-de se determinarem os pontos comuns.

Na figura 9 representamos a variação dos encargos quilométricos totais em função do preço do kWh para as potências de 5, 10 e 20 kW.

Para tirar as conclusões possíveis dos resul-

| Pot. kW | Madeira-Ferro | | | Madeira-Cobre | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Encargos anuais — Escudos | | | Encargos anuais — Escudos | | |
| | $50 | $25 | $10 | $50 | $20 | $10 |
| 40 | 2.201$00 | 1.476$00 | 1.041$00 | 880$00 | 825$00 | 792$00 |
| 30 | 1.651$00 | 1.201$00 | 931$00 | 830$00 | 800$00 | 782$00 |
| 20 | 1.161$00 | 956$00 | 833$00 | 797$00 | 783$50 | 775$40 |
| 10 | 841$00 | 796$00 | 769$00 | 777$00 | 773$50 | 771$40 |
| 5 | 766$00 | 758$50 | 754$00 | 771$50 | 770$75 | 770$30 |
| Curvas | I | II | III | I | II | III |

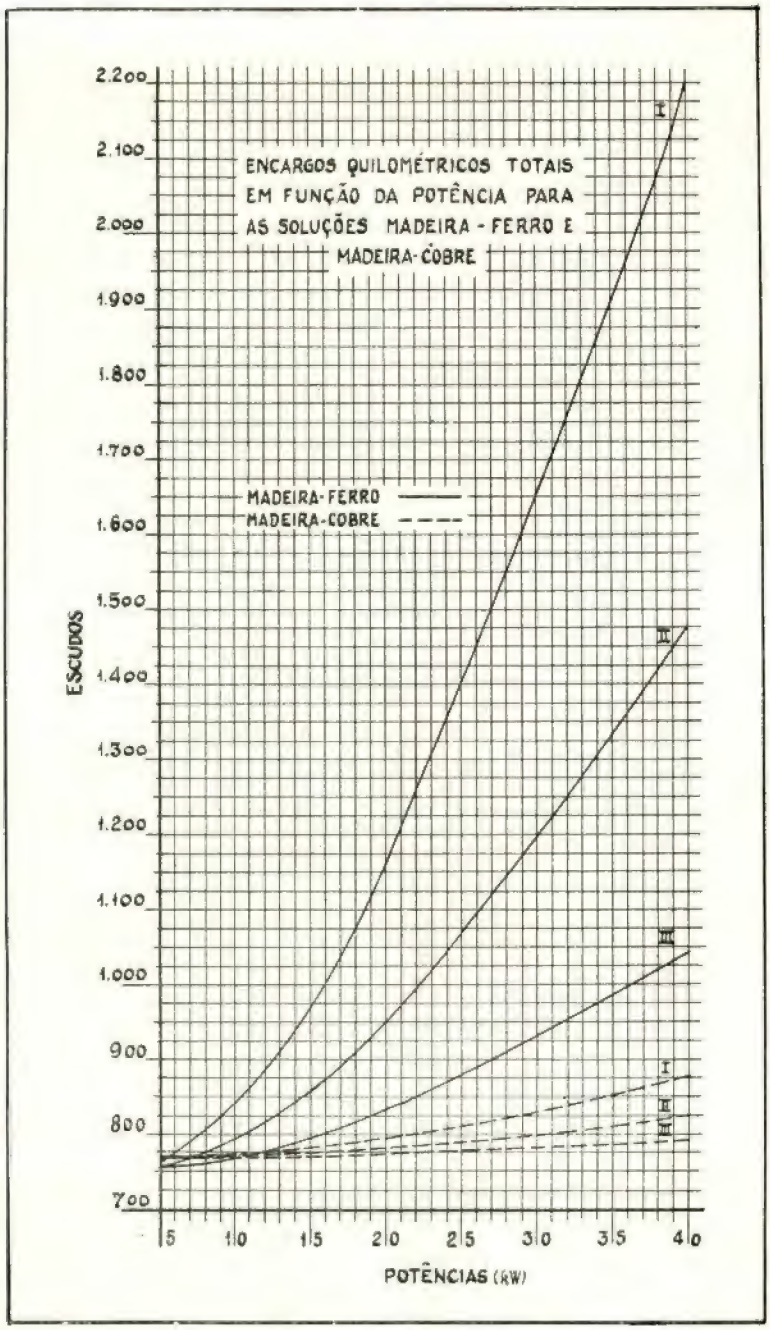



Fig. 7

tados obtidos e dar-lhes o seu verdadeiro significado, limitando de maneira nítida o seu campo de influência, convém recordar as condições estabelecidas de forma a tê-las bem presentes, *lembrando-nos sempre que os resultados são uma função das hipóteses arbitradas.*

São as seguintes:

*a*) Os postes empregados têm as características indicadas anteriormente, e poderiam suportar esforços maiores; adoptaram-se porém postes normais com vãos equivalentes;

*b*) Adoptaram-se condutores maciços em cobre ou em ferro, de secções mínimas sob o ponto de vista mecânico. É muito natural que o emprêgo duma secção maior de ferro ou

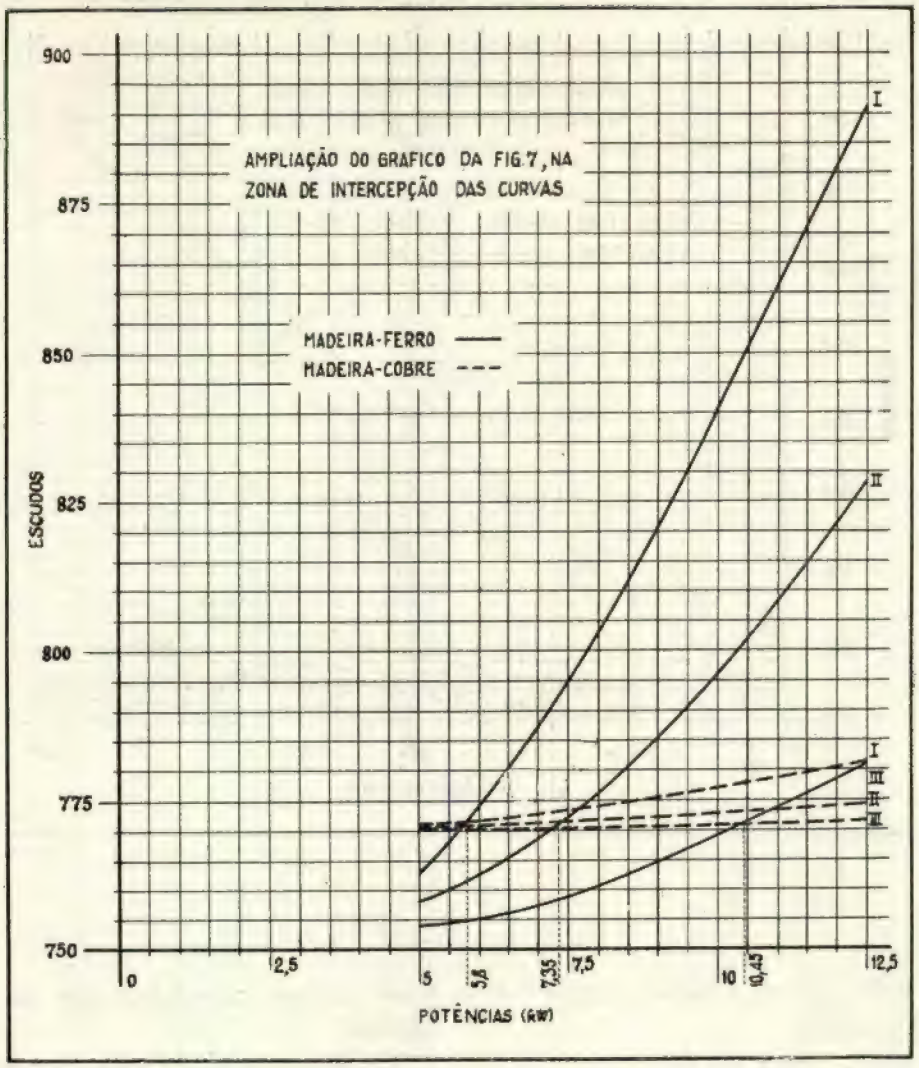



Fig. 8

emprêgo de cabo alterassem por completo as conclusões obtidas;

*a*) Para a determinação dos encargos financeiros fixou-se:

1) Juro anual de 6 %;

2) Períodos determinados de amortização para os diversos elementos constitutivos da linha;

3) Encargos de conservação indicados pela experiência;

4) Preços dos mercados locais pre-guerra para os vários materiais.

*d*) Utilização anual de ponta igual a 1.000 horas, factor de potência igual a 0,8;

*e*) Preços variáveis de kWh;

*f*) Linhas monofasadas em qualquer dos casos, com queda de tensão máxima igual a 10 %.

Podem-se tirar as seguintes conclusões:

I) Os encargos provenientes das perdas têm influência considerável; assim, a solução madeira ferro é mais barata do que a solução madeira cobre apenas para as potências a transmitir muito pequenas, sendo mais cara para potências mais elevadas.

Para os casos particulares estudados, verifica-se o seguinte:

*a*) Para o kWh a $50, os encargos são iguais para uma potência a transmitir da ordem dos 5,8 kW; abaixo dêste valor é mais económica a solução ferro; acima, a solução cobre é melhor;

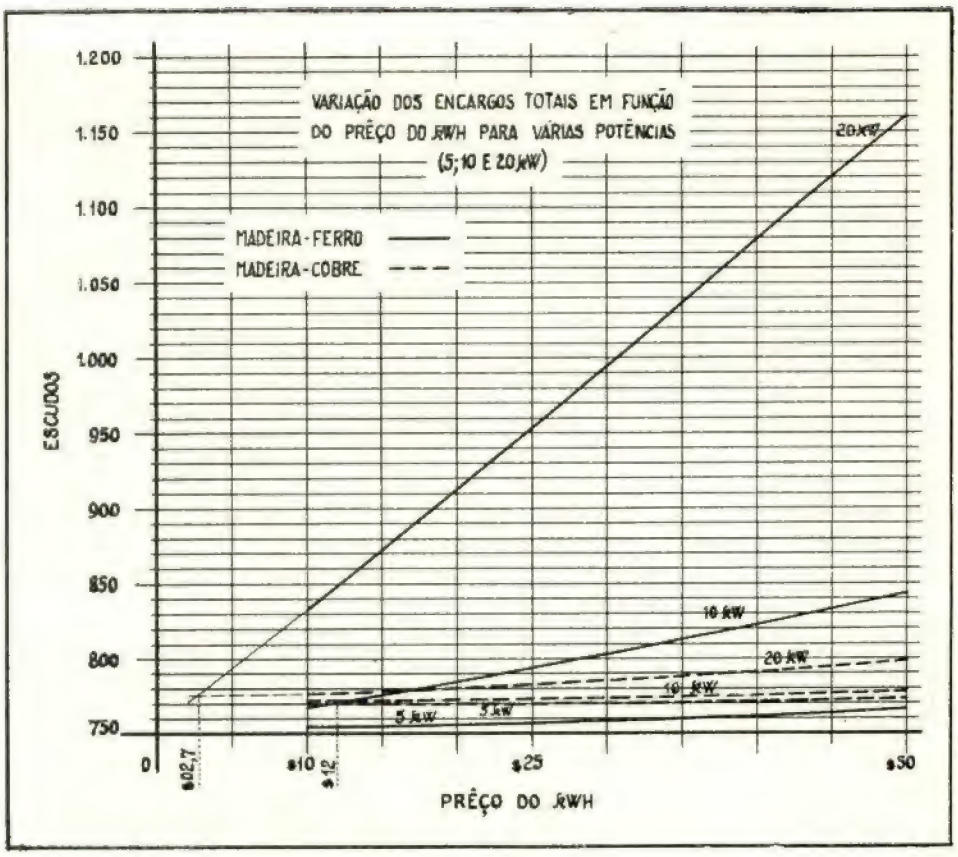



Fig. 9

*b*) Para o kWh a $25, o valor cumum corresponde a 7,35 kW;

*c*) Para o kWh a $10, o valor comum corresponde a 10,45 kW.

II) Quanto menor fôr a potência a transmitir, mais elevado pode ser o preço do kWh para a solução ferro. Assim verifica-se que para uma potência de 20 kW a solução ferro só é mais económica para um valor do kWh igual a $02,7; porém, se a potência se reduzir a metade, o valor crítico do kWh subirá imediatamente para $12.

III) Verifica-se ainda de maneira evidente a importância fundamental que tem o preço a atribuir ao kWh para um estudo desta natureza. Uma distribuïdora que adquira a sua energia, tem, evidentemente, encargos de perdas muito pesadas que lhe limitam a um campo muito restrito o emprêgo de ferro. É no entanto preciso notar, como dissemos anteriormente, que o emprêgo de secção diferente de condutor, ou de cabo em vez de secção maciça, pode alterar completamente as conclusões obtidas.

IV) Devemos ainda notar que o emprêgo da solução ferro, para potências acima de 20 kW, está limitado a um comprimento de linha muito reduzido; mesmo para êste último valor de potência, não pode ultrapassar 2 quilómetros. Quere isto dizer que para potências mais elevadas a solução ferro para esta secção de metal é não só mais cara, como tècnicamente inviável.

* * *

Vejamos agora qual a maneira de determinar o valor da potência em função do preço do kWh, e obter assim os diversos pontos críticos.

Representando por A os encargos financeiros por quilómetro de linha, por r a resistência quilométrica, por P a potência em kW e por p o preço do kWh, podemos estabelecer fàcilmente a expressão que nos permite

determinar os encargos anuais da linha para uma utilização de 1.000 horas.

Os encargos provenientes das perdas são

$$\frac{2\,r\,I^2}{1000} \times p \times 1000 = 2\,r\,I^2\,p$$

Como

$$I = \frac{1000\,P}{v \cos \varphi}$$

a expressão dos encargos totais será

$$\left(A + 2r \frac{10^6\,P^2}{v^2 \cos^2 . \varphi}\,p\right)$$

e para $V = 6.000$ Volts e $\cos \varphi = 0{,}8$ temos

$$A + \frac{r\,P^2\,p}{11{,}52}$$

É preciso notar que $r$ é função de $I$ e portanto de $P$, como vimos.

Para utilizar esta fórmula temos, portanto, de realizar as necessárias tentativas até encontrar o valor de $r$ correspondente ao valor de $I$, o que de resto é simples.

Representando por *a* a diferença de encargos financeiros entre uma e outra solução, e por $r_f$ a resistência quilométrica do ferro, a potência para a qual os encargos totais são iguais é dada pela expressão

$$P = \sqrt{\frac{11{,}52 \times a}{(r_f - 1{,}57)\,p}}$$

Apliquemos esta fórmula a um exemplo concreto:

Comparação entre soluções madeira-ferro e madeira-cobre. Temos

$$a = 770\$30 - 751\$00 = 19{,}3$$

e consideremos

$$p = \$30$$

Admitamos para começar

$$r_f = 18 \text{ ohms}$$

vem

$$P = \sqrt{\frac{11{,}52 \times 19{,}3}{(18 - 1{,}57) \times 0{,}30}} = 6{,}55 \text{ kW}$$

Para 6,55 kW a resistência $r_f$ é igual a 17,5 e não a 18 ohms; como a resistência, nesta zona, baixa com o aumento da intensidade, convem arbitrar, p. e. $r_f = 17$ ohms; nessa hipótese vem

$$p = 6{,}75 \text{ kW}$$

a que corresponde uma resistência $r_f = 17{,}3$ ohms.

Conclue-se portanto que a potência crítica anda à volta dos 7 kW, e não é preciso maior aproximação, visto que tanto o valor do $\cos \varphi$ como o da tensão são variáveis durante o dia, o que altera imediatamente o valor de I e portanto de $r_f$.

Quere portanto dizer que abaixo de 7 kW é mais económica a solução ferro, e acima a solução cobre, para êste preço do kWh.

## V — Considerações finais

O estudo apresentado não pretende obter soluções definitivas; nem isso era possível, visto que os resultados atingidos se referem a casos concretos e são apenas válidos para as hipóteses arbitradas.

Procurou-se apenas estabelecer um método geral de estudo económico duma linha de electrificação rural, de forma a poder determinar-se para cada caso qual a solução mais vantajosa.

Algumas conclusões gerais se puderam obter, entre as quais destacamos:

I) Considerável influência dos encargos provenientes das perdas, que só por si são suficientes para condenar soluções que de outra forma pareceriam as melhores;

II) Vantagem nítida do emprêgo do poste de madeira, tanto sob o ponto de vista técnico como sob o ponto de vista económico;

III) Condenação do condutor de ferro para potências elevadas em virtude da grande queda de tensão e da grande perda em linha.

O emprêgo de cabos em vez de condutores maciços, a utilização de secções maiores, uma tensão mais elevada, uma linha trifasada em vez de monofasada, preços diferentes para os vários materiais, alteram por completo os dados do problema e originam possivelmente solu-

ções diversas, isto é, as potências críticas seriam muito diferentes para os mesmos valores do kWh.

Quando se pretender portanto estudar uma linha rural tem de se estabelecer imediatamente:

1) Comprimento da linha;
2) Potência a transmitir;
3) Utilização anual a prever;
4) Tensão e factor de potência
5) Características da linha.

Depois dever-se-á escolher as secções mínimas sob o ponto de vista de queda de tensão se houver lugar para isso, ou sob o ponto de vista mecânico, se as primeiras forem muito exíguas.

A questão do período de amortização dos vários elementos constitutivos do ramal tem de ser igualmente encarada com extrema atenção, pois sera variável com as condições locais e climatéricas, assim como os preços dos materiais, que variarão de local para local.

Finalmente, teremos de fixar o valor do kWh; é um elemento extremamente importante, como vimos, pois dêle depende em grande parte a solução que adoptaremos no final.

Neste problema, como em todos os outros, a questão do bom senso domina tôdas as outras; é necessário fixar determinadas hipóteses e limitar de maneira precisa o campo de influência dos resultados obtidos.

Não há pois soluções definitivas: as hipóteses estabelecidas condicionam os resultados, e dependem do critério pessoal do engenheiro que estudar o problema.

Lisboa, Fevereiro de 1942.

# INDÚSTRIA DO CIMENTO

Por sujestão do Sr. Eng.º Lopes Raimundo, 1.º Assistente com regência da Cadeira de Tecnológica Química, I e II partes e a convite do Ex.mo Sr. Director, veio a êste Instituto fazer 4 lições sôbre a indústria de cimentos, o Sr. Eng.º António Teixeira Lopes, director técnico da Fábrica de Cimentos Tejo em Alhandra.

Após uma breve notícia histórica e dados estatísticos, o Sr. Eng.º Teixeira Lopes focou os aspectos e dificuldades mais importantes do problema dos cimentos seguindo como é de uso a ordem de fabrico.

Referiu-se em primeiro lugar ao trabalho de extracção, transporte e preparação mecânica das matérias primas, paralelamente nos dois casos de fabricação por via sêca e por via úmida.

Definiu as principais teorias da constituïção dos cimentos e as fórmulas de composição que lhes correspondem, pôs a seguir mais largamente o problema da cosedura nos vários aspectos em que se apresenta principalmente o problema dos fornos e dos revestimentos refractários e o dos combustíveis.

Finalmente falou na preparação do clinker e expôs as bases do controle de fabricação necessária.

Dada a competência e larga experiência profissional e seriedade do Sr. Eng.º Teixeira Lopes e o carácter técnico destas lições, foram estas de grande utilidade.

Feliz e muito digna de imitação foi a ideia de as realizar.

# PONTOS DE EXAMES DE APTIDÃO

*Saidos nas duas últimas épocas de exames*

**Matemática**

I — Uma sala rectangular com 45 metros quadrados de superfície encontra-se pavimentada com ladrilhos de duas qualidades. Os primeiros cobrem uma superfície 34,44 metros quadrados e os segundos, dispostos em quatro filas, formam uma cercadura rectangular dos primeiros em tôda a volta da sala. Sabendo que os ladrilhos da cercadura são quadrados de 1 decímetro de lado, calcular as dimensões da sala.

II — Determinar as condições a que satisfazem os números $a$ e $b$ sendo

$$\log(a-b) = \log a + \log b$$

III — Determinar os valores de $x$ que satisfazem à equação

$$\text{Arc sen } x\sqrt{3} = \text{Arc sen } 2x - \text{Arc sen } x$$

IV — Dada uma circunferência de raio $R$, achar a distância do centro a que devem ser tiradas as tangentes à mesma circunferência para que a corda determinada pelos seus pontos de contacto tenha um dado comprimento $a$. Valor dessa distância para $a = R$.

V — Numa pirâmide tetragonal regular a aresta da base mede 10 centímetros e as arestas laterais formam com a base ângulos de 45 graus. Calcular a área da secção feita na pirâmide por um plano paralelo à altura e a uma das arestas laterais e distando 2 centímetros da altura.

VI — Calcular a área da lúnula limitada por dois planos diametrais de uma esfera, sabendo que o triângulo plano formado por um dos extremos do diâmetro comum e pelos pontos de intersecção dos referidos planos com o círculo máximo perpendicular tem um lado igual a 6 centímetros e outro igual a 12 centímetros.

VII — Um veleiro faz uma viagem de um pôrto a outro e volta. Na ida, com vento favorável, a viagem demora menos vinte horas do que no regresso em virtude de o barco percorrer em cada hora mais 5 quilómetros. Calcular o tempo gasto na viagem, sabendo que a distância entre os dois portos é de 600 quilómetros e que o barco se demorou trinta e seis horas no pôrto de destino.

VIII — A função de $x$ definida pela equação $ab(x+2y) - 20 = 2(a+b)xy$, onde $a$ e $b$ são constantes, toma os valores $\frac{3}{5}$ e $-1$ para $x = 0$ e $x = 2$, respectivamente. Calcular o valor da função para $x = 3$.

IX — Determinar os ângulos $B$ e $C$ de um triângulo rectângulo, sabendo que é

$$\sqrt{3}(\text{tg } B - 1) = 1 - \text{tg } C$$

X — Dado um triângulo rectângulo de lados $a$, $b$ e $c$, tirar, pelo vértice do ângulo recto, uma recta que divide o triângulo dado em dois triângulos cujas áreas estejam na razão $\frac{m}{n}$.

XI — Numa pirâmide hexagonal regular, as faces laterais têm um ângulo igual a 77 graus e o lado oposto igual a 20 centímetros. Calcular o volume da pirâmide.

XII — Num losango, uma diagonal mede 6 centímetros e a outra é igual ao lado. Calcular o volume do sólido gerado pelo losango em tôrno da paralela à diagonal menor tirada por um dos vértices opostos.

XIII — Um trabalho que leva quinze dias a um homem para ser executado, pode ser feito em seis dias por dois homens e um rapaz. ¿Que tempo levam quatro rapazes e um homem para fazerem o mesmo trabalho?

XIV — Determinar os valores de $k$ para os quais a equação

$$(k^2+1)x^2 - 2(k+1)x - 2k - 3 = 0$$

tem raízes negativas.

XV — Determinar os ângulos compreendidos entre $-2\pi$ e $2\pi$, tais que

$$2\text{tg}x - \sec x = 1$$

XVI — Inscreva, num triângulo isósceles, um novo triângulo tendo os vêrtices nos pontos de contacto da circunferência inscrita. Determinar os perímetros dos dois triângulos, sabendo que os ângulos da base do primeiro triângulo são iguais a 40 graus e que o raio da circunferência inscrita é igual a 8 centímetros.

XVII — Uma pirâmide tem por base um losango e a sua altura cai no ponto de intersecção das diagonais da base. Sabendo que estas medem 4 centímetros e 6 centímetros e que as faces laterais fazem com a base ângulos de 45 graus, calcular o volume da pirâmide.

XVIII — Calcular o volume de uma esfera sabendo que a diferença entre os volumes do cubo circunscrito e do cubo inscrito é igual a 27 centímetros cúbicos.

XIX — Um automóvel segue por uma estrada com 120 quilómetros, em que as subidas medem $\frac{2}{3}$ das descidas. O automóvel faz a velocidade média de 60 quilómetros por hora nas descidas, de 40 nas subidas e de 75 nas regiões planas. Sabendo que na volta demora mais oito minutos que na ida, calcular o tempo gasto na viagem de ida e volta.

XX — Determinar os valores de $k$, para os quais a equação

$$k^2 x - k(x+1) - 1 - 2x = 0$$

é impossível.

XXI — Determinar os ângulos $x$, tais que

$$\text{tg}^2 x = \text{sen}^2 A \, \text{sen}^2 B - \cos^2 A \cos^2 B$$

sendo $A = 66^\circ\ 22'$ e $B = 40^\circ\ 50'$.

XXII — Pelo ponto $D$ do lado $AC$ de um triângulo $ABC$ tiram-se as paralelas $DE$ e $DF$ aos outros dois lados. Determinar a posição do ponto $D$ de modo que o perímetro do paralelogramo $DEBF$ esteja para o do triângulo dado na razão $\frac{m}{n}$.

XXIII — Numa pirâmide regular de base triangular, a altura mede 20 centímetros e a aresta lateral é dupla da aresta da base. Calcular a medida do diedro formado pelas faces laterais com a base.

XXIV — Dado um rectângulo de dimensões 5 centímetros e 8 centímetros, calcular o ângulo que deve fazer, com o lado maior, uma recta tirada por um dos vértices para que a relação entre os volumes dos sólidos gerados, em tôrno dêsse lado, pelas duas figuras em que a mesma recta divide o rectângulo, seja igual a $\frac{1}{2}$.

## Fisico-quimicas

I — Acção de água sôbre os sais. Reacções de hidratação e de hidrólise. Conseqüências. Exemplos de aplicação.

II — O sulfureto de ferro artificial contém sempre uma quantidade de ferro não combinado. Atacando 1 grama deste produto pelo ácido clorídrico e fazendo passar os gases produzidos, através de uma solução de sulfato de cobre, obtém-se um precipitado negro, que, depois de bem lavado e sêco, pesa 0,960 gramas. Achar a composição centesimal do sulfureto de ferro, em ferro combinado e ferro livre. ¿Êste facto representa algum inconveniente e é fácil remediá-lo?

$$S = 32 \quad Cu = 64 \quad Fe = 56$$

III — O filamento de uma lâmpada de incandescência tem as seguintes características:

Comprimento, 1 centímetro;
Raio, 0,02 milímetros;
Resistividade, $5 \times 10^{-5}$ ohms por centímetro.

Através dêle faz-se passar uma corrente eléctrica com uma intensidade de 0,25 ampéres. Admite-se que a quantidade de calor produzida pela corrente e radiada pelo filamento em cada segundo é dada pela seguinte fórmula:

$$W = 25 \times 10^{-21} \times S \times T^6 \text{ watts}$$

Sendo:

$S$ = a superfície exterior do filamento em centímetros quadrados;
$T$ = a temperatura absoluta do mesmo.

Achar a resistência e a temperatura do filamento. Para simplificar o cálculo é dado o seguinte valor numérico:

$$\sqrt[6]{\frac{1}{2\pi^2}} = 0{,}6$$

¿ Conhece algum corpo simples que seja capaz de resistir, sem fundir, à temperatura achada e sabe como pode evitar-se a destruïção rápida do filamento da lâmpada?

IV — Fenómenos de compressão e dilatação dos gases. Formula dos gases perfeitos Aplicações.

V — Um motor térmico possue um volante de ferro fundido de secção quadrada cujo raio médio é igual a 1 metro, e cuja expessura mede 1 decímetro. O volante gira com uma velocidade de 200 voltas por minuto. Calcular a energia cinética de volante em kilogrametro e em ergs. ¿ Qual é a utilidade de um volante? O pêso especifico do ferro fundido é igual a 7,8 gramas por centímetro cúbico.

VI — Num pôsto de soldadura que utiliza um maçarico oxi-acetilênico é costume, entre outras, fazer as seguintes recomendações: conservar o local onde está o gerador bem ventilado, evitar a elevação de temperaturas (não fumar), não abrir os cilindros do carboneto a fogo e conservar o carboneto em recipientes metálicos bem fechados. Justifique tôdas estas indicações.

VII — Estudo dos explosivos a que se fêz referência no curso: pólvora negra, dinamite e nitro-celuloses. Composição, processo de os obter e propriedades mais importantes.

VIII — A análise química de um carvão está expressa na seguinte composição centesimal, em pêso:

| | |
|---|---|
| Carbono fixo | 86,0 |
| Matérias voláteis | 1,9 |
| Enxôfre | 3,8 |
| Cinzas | 3,3 |
| Água | 5,0 |

$C = 12 \quad H = 1 \quad O = 16 \quad S = 32$

Supondo que a matéria volátil é constituída por metano, calcular o volume de ar necessário para queimar um quilograma dêste carvão, depois de sêco. ¿ Terá algum inconveniente a presença do enxôfre?

IX — Para se carregar uma bateria de seis acumuladores que se destina a preparações electroquímicas, pretende-se preparar 1 litro de ácido sulfúrico a 22° Baumé (êste ácido contém 25 por cento de ácido sulfúrico puro em pêso e tem um pêso específico igual a 1,89 g. por centímetro cúbico). Dispomos de ácido sulfúrico o 66° Baumé que contém 3 por cento de água. Calcular o pêso dêste ácido e o pêso de água destilada que é preciso misturar para obter a solução precisa e indicar a técnica da operação. ¿ Qual a vantagem em manter as placas da bateria bem cobertas?

X — Fôrça centrífuga. Leis e conseqüências. Algumas aplicações práticas mais importantes.

XI — Dispomos de 40 elementos de pilha cujas características são:

| | |
|---|---|
| Fôrça electro motriz | 1,6 volts |
| Resistência interna | 0,3 ohms |

Pretendemos agrupá-los, de modo a obter num circuito, formado por um fio de cobre com 1 quilómetro de comprimento e de secção igual a 5 milímetros quadrados, a máxima intensidade. A resistência específica de um fio de cobre com uma secção de 1 milímetro quadrado e 1 metro de comprimento é igual a 0,015 ohms. ¿ Como se deverão reünir os elementos e qual a intensidade máxima da corrente eléctrica?

XII — ¿ Qual é o limite mínimo de vácuo que poderá obter-se com as trompas de água tam usadas nos laboratórios?

XIII — Preparação das bases minerais, segundo as regras de Berthollet. Ilustre o processo com três exemplos (base volátil, base insolúvel, e base não volátil e solúvel). Importância prática das bases minerais.

XIV — Um gás natural tem a seguinte composição volumétrica:

| | |
|---|---|
| Hidrogénio | 1,12 |
| Metano | 89,60 |
| Acetileno | 0,34 |
| Anidrido carbónico | 0,27 |
| Óxido de carbono | 0,56 |
| Oxigénio | 0,34 |
| Azoto | 7,59 |
| Sulfídrico | 0,18 |

Calcular o pêso de ar necessário para a combustão completa de 1 metro cúbico dêste combustível e indicar algumas das mais importantes propriedades dêste gás.

XV — Pretende-se preparar, para a determinação da densidade de um óleo, 1 litro de uma solução alcoólica com uma densidade igual a 0,928, à qual corresponde uma concen-

tração de 57 por cento, em alcool puro. O alcool de que dispomos é a 95 por cento. Determinar as quantidades dêste alcool e de água destilada que é preciso juntar para obter a solução desejada, supondo que a mistura dos dois líquidos se faz sem variação de volume. ¿Como se verifica depois que o óleo tem uma densidade superior, igual ou inferior à densidade da solução alcoólica assim preparada?

XVI — Densimetria: massa específica, pêso específico, densidade. Processos de determinação. Unidades correspondentes.

XVII — Um muro com 4 metros de altura e 10 metros de comprimento recebe uma pressão do vento igual a 288 quilogramas por metro quadrado. Sabe-se que cada metro cúbico de muro pesa 1.800 quilogramas. Pretende-se determinar a espessura que deve ter êste muro para se conservar em equilíbrio (resistir à pressão do vento).

XVIII — ¿De que depende o poder refrigerante de um líquido?

XIX — Fórmulas químicas: empíricas, racionais e de estrutura. ¿Como se estabelecem e e para que servem? Exemplifique com compostos minerais e orgânicos.

XX — A composição centesimal de um composto é expressa pelos seguintes valores:

| | |
|---|---|
| Alumina. . . . . | 10,74 |
| Óxido de potássio . . . . . | 9,93 |
| Anidrido sulfúrico . . . . . | 33,76 |
| Água . . . . . | 45,57 |

$Al = 27 \quad O = 16 \quad K = 39{,}1 \quad S = 32 \quad H = 1$

Achar a fórmula do composto e indicar a função química e o nome correspondente. ¿Êste composto tem algum interêsse prático e teórico?

XXI — Uma caldeira a vapor consumiu, em três horas de funcionamento, 1,5 tonelada de carvão para transformar 10.000 litros de água, que se encontrava à temperatura de 20° C., em vapor a 15 atmosferas e aquecer êste vapor até à temperatura de 250° C. Sabe-se que a relação entre a pressão do vapor, em quilogramas por centímetro quadrado e a temperatura correspondente, é expressa matemàticamente pela expressão

$$p = \left(\frac{t}{100}\right)^4$$

e que a fórmula que dá o calor de vaporização da água à temperatura $t^0$ é

$$l = 606{,}5 - 0{,}7 \,.\, t \text{ calorias}$$

Sabe-se ainda que o calor específico do vapor da água é igual a 0,48 calorias e que 1 quilograma de carvão ardendo liberta 7.000 calorias. Calcular o rendimento térmico do gerador (relação entre as calorias aproveitadas e as calorias fornecidas). ¿O resultado numérico sugere-lhe algumas considerações sôbre o rendimento dos motores térmicos?

XXII — Lei de Ohm: resistência, resistividade, condutibilidade e conductividade eléctricas. Medição da primeira destas grandezas. Unidades correspondentes.

XXIII — Uma turbina é alimentada por uma corrente de água sob pressão, proveniente de uma barragem cuja superfície livre está a 100 metros acima da turbina e que fornece 1.000 litros por segundo. ¿Qual será a potência, em watts que pode recolher-se no eixo da turbina, se o funcionamento desta fôr perfeito? ¿Porque será que na realidade a potência obtida é sempre inferior?

XXIV — Uma solução aquosa de carbonato de sódio revela reacção alcalina com fenolftaleína que se acentua com o aquecimento. ¿Como explica o fenómeno?

# DO MUNDO TÉCNICO

## Uma turbina de combustão de gás Brown Boveri

Para transformar a energia potencial, contida nos combustíveis, em energia mecânica e eléctrica, seguiu-se, a princípio, um caminho indirecto, queimando o combustível em caldeiras produtoras de vapor de água, obtendo-se, depois, por meio das máquinas de êmbolo, a energia mecânica transformável em eléctrica. Foi assim desde James Watt até ao princípio dêste século.

O primeiro progresso sensível obteve-se com a turbina de vapor, que permite suprimir as massas em movimento alternado, as válvulas ou gavetas e seu comando, dando-nos a possibilidade de trabalhar com velocidade muitíssimo maiores e máquinas de dimensões mais reduzidas. Disto resultou um importante aumento da potência unitária das máquinas, com o conseqüente embaratecimento da energia. No entanto, a arte dos engenheiros conseguiu, dentro em breve, transformar *directamente* a energia potencial, para os combustíveis líquidos e gasosos, quer por meio dos motores de explosão, quer por meio dos motores de injecção (Diesel). Porém, estas máquinas de combustão interna têm ainda massas em movimento de vai-vem, pelo que continuam atreitas aos inconvenientes dêste tipo de máquinas. É, portanto, compreensível que, desde há dezenas de anos, os engenheiros procurem atingir o ideal da turbina de combustão, que está para o motor de combustão como a turbina de vapor está para a máquina a vapor alternativa.

Se êste objectivo demorou tanto em tornar-se realidade, isso só significa que houve grandes dificuldades a vencer.

Comecemos por examinar o motor de combustão. Àparte o escape, temos a considerar, dentro do cilindro, as seguintes fases:

*a*) Compressão do ar de combustão.
*b*) Combustão ou explosão.
*c*) Expansão dos gases.

É de notar que o trabalho da expansão tem de produzir também o trabalho da compressão, além da potência útil. Compreende-se fàcilmente que, sendo, na turbina de compressão, impossível realizar aquelas 3 fases na mesma câmara, é-se obrigado a dispor os seguintes acessórios:

*a*) Compressor de ar.
*b*) Câmara de combustão.
*c*) Turbina de expansão.

É vantajoso que a turbina e o compressor estejam acoplados ao mesmo veio (fig. 1). Estão, assim, enumeradas tôdas as partes essenciais duma turbina de combustão.

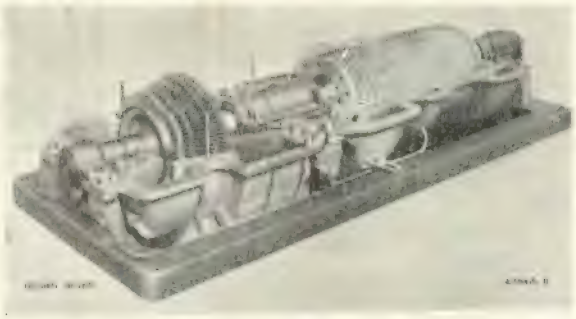


Fig. 1

Há dois tipos de turbina de combustão a distinguir: a turbina *de explosão,* desenvolvida por Holzwarth em que há várias câmaras de combustão alimentando, sucessivamente, a turbina, por meio de um sistema de válvulas de escape e admissão, e a turbina *de combustão contínua,* a que a casa Brown Boveri tem dedicado a sua especial atenção por ser incomparàvelmente mais simples em tôda a sua construção; com efeito, êste sistema não tem uma única válvula. É dêle que nos vamos ocupar.

Todo o ciclo é de uma simplicidade extrema, como se vê na fig. 2 e desenvolve-se pela seguinte forma:

Em *a* é admitido o ar que, depois de ser comprimido em *b*, é levado à câmara de queima onde os gases da combustão são conduzidos para a turbina *c* e saem em *d* para o ar livre.

A termodinâmica ensina-nos que o rendimento térmico de uma máquina será tanto menor quanto maior o excesso de ar com que se trabalha. Nas caldeiras, e nos motores de combustão também, trabalha-se com excessos de ar da ordem dos 40 % e temperaturas de combustão à volta de 1500°. Como, porém, não se conhece qualquer metal que suporte, sem arrefecimento artificial, temperaturas superiores a 550-600°, Brown Boveri viu-se obrigado a trabalhar, na sua turbina de combustão, com excessos de ar de ordem de 400 %, pois, por motivos de simplicidade, quis-se excluir todo e qualquer sistema de arrefecimento por água.

É evidente que êste grande excesso de ar influi desfavoràvelmente no rendimento da máquina mas, por outro lado, permitiu realizar a mais simples de tôdas as instalações térmicas e, simultâneamente com

esta simplicidade, obteve-se um mínimo de espaço ocupado, um reduzido preço de aquisição e um mínimo de condução e conservação. Sob estes três pontos esta instalação é, de resto, muito superior ao motor Diesel. Mercê da sua simplicidade é a máquina ideal para reserva instantânea, pois pode pôr-se a funcionar automàticamente em poucos minutos, sem a intervenção de qualquer pessoal. Esta instalação pode, também, designar-se por «central sem água» visto não se fazer qualquer uso desta. Em virtude destas propriedades e do pequeno espaço ocupado é também a instalação ideal de reserva, que pode ser instalada fàcilmente numa galeria subterrânea à prova de bombas.

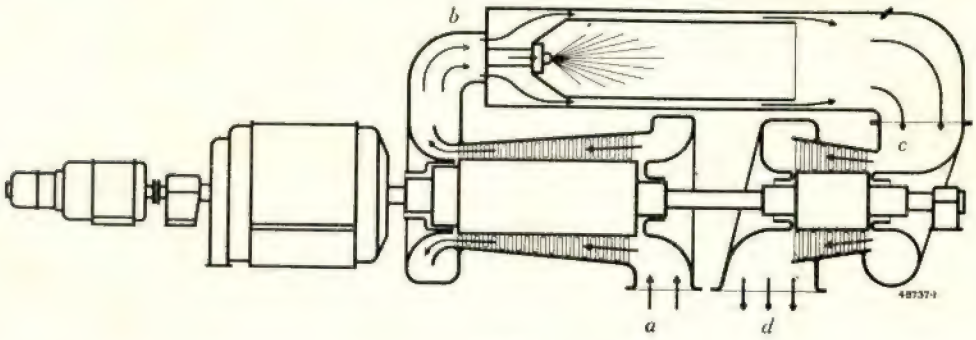



Fig. 2

Nas execuções mais simples pode-se obter um rendimento térmico do conjunto entre 17 e 18 % que, com o emprêgo da recuperação do calor dos gases de escape através do ar de combustão, pode subir a 25 %, isto é, a um valor que corresponde ao de uma boa central a vapor.

Além da produção de energia eléctrica, estas turbinas encontram outros campos de aplicação como sejam, a tracção, a marinha e, duma forma geral, tôdas as instalações industriais que necessitam de grandes quantidades de ar sob pressão e que têm como sub-produtos gases combustíveis, como são, por exemplo, as refinações de óleos, as instalações de altos-fornos, etc.

A fig. 3 mostra uma locomotiva com turbina de combustão, de 2200 HP que entrou ao serviço dos Caminhos de Ferro Federais Suiços em Setembro passado. Aquela potência é transmitida às rodas elèctricamente, como nas locomotivas Diesel-eléctricas.

As principais vantagens desta locomotiva em relação a uma locomotiva de vapor, são:

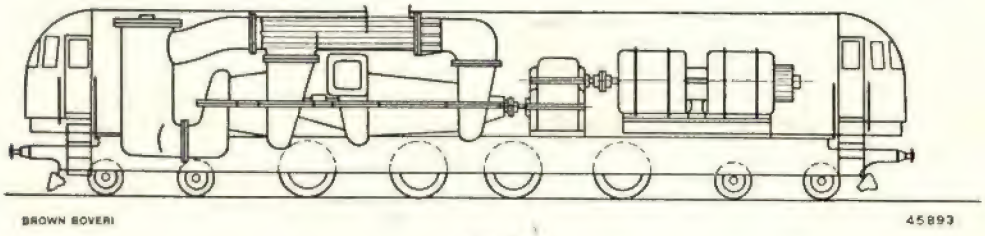



Fig. 3

Rendimento — cêrca de 17 % contra 10 a 12 %.

Não necessita de água, o que a torna aconselhável para grandes percursos, onde haja dificuldade de abastecimento de água.

Regulação simples — efectuada por variação da quantidade de combustível queimada, por meio dum sistema de comando automático.

Pêso reduzido, como já se fêz notar.

(De *Suissa Técnica*)

# EMULSÕES

de asfalto para estradas

Todos os tipos e percentagens

**TELEFONE 20879**
**Telegramas: Epalda—LISBOA**

**FÁBRICA EM SACAVÉM**

Granulados de mármores

para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

*OS MAIS BONITOS*
*OS MAIS RESISTENTES*
*OS MAIS VANTAJOSOS*

Soc. Portuguesa CAVAN

Rua D. Estefania, 42

*Telefone 47812 — Lisboa*

FILIAL NO PÔRTO:

PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

*Para instalar o seu laboratório ou completar a sua aparelhagem de medidas eléctricas e de rádio*

consulte a

***Standard Electrica***

RUA AUGUSTA, 27

TELEFONE 23111/12/13

## SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

■ ■ ■

**SERRALHARIAS,**

**CALDEIRARIA,**

**FERRARIA,**

**FUNDIÇÕES**

■ ■ ■

ESCRITÓRIO

**Rua de S. Tiago, 13**

**LISBOA**

Telefone 26572

OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

## INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL e de MINERALOGIA, executam-se análises para o público.

**Para quaisquer informações dirigir-se ao secretário da comissão executiva**

## Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas

Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico

Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

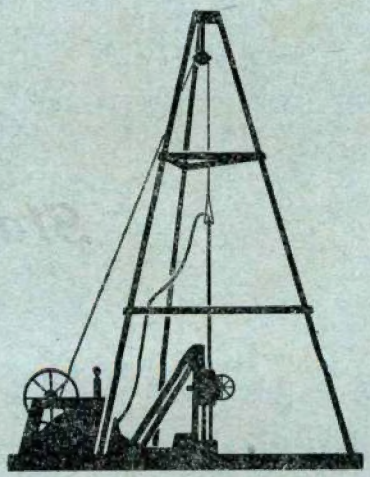
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

**As melhores referências no paiz e no estrangeiro**



Engenheiro delegado para Portugal

**Walter Weyermann**

**P. do Município, 32-2.º--LISBOA Tel. 2 8685**

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

# Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

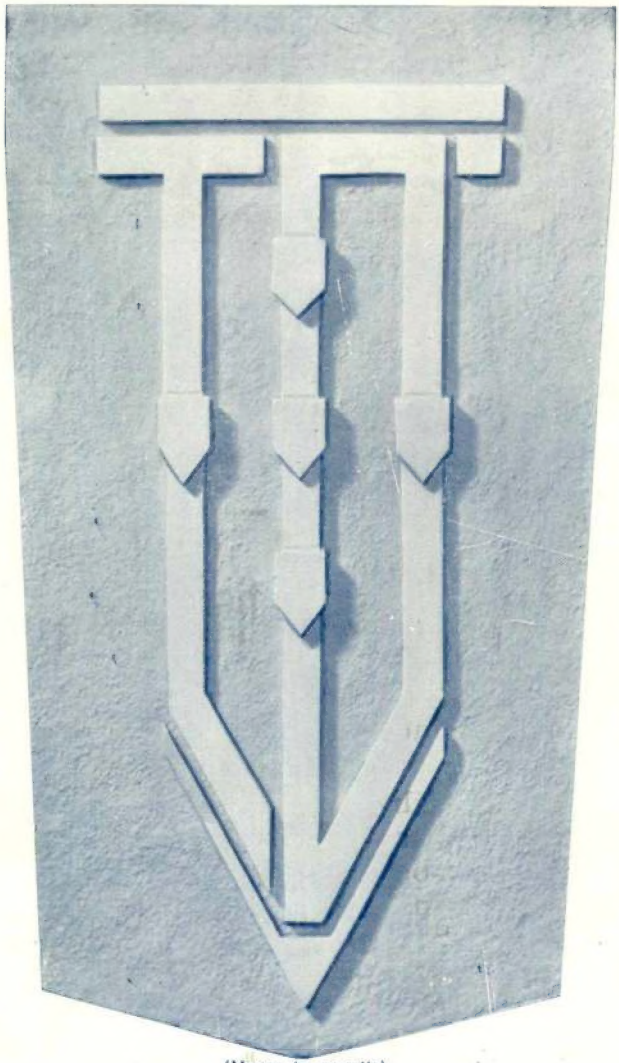
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

# BROWN, BOVERI & CIE.

## BADEN (SUISSA)

**Representante geral para Portugal e Colónias:**

EDOUARD DALPHIN

**Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2 411**

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.

**Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.**